
RDT – Radiotransmissão

Prof. Ramon Mayor Martins, MSc.

ramon.mayor@ifsc.edu.br



PARTE 2.1: ONDAS ELETROMAGNETICAS: Espectro Eletromagnetico

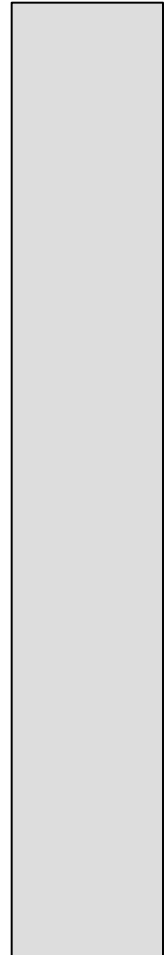
Disponível em: [http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Radiotransmissão_\(2015-1\)](http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Radiotransmissão_(2015-1))

Versão 2015

RDT – Radiotransmissão

II.1- Ementa Expandida:

- Introdução
- Ondas Eletromagnéticas
 - Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas
 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas
 - Espectro Eletromagnético
- Radiopropagação
 - Propagação
 - Radiocomunicações
 - Comunicações LF
 - Comunicações MF (OM)
 - Comunicações HF
 - Comunicações VHF UHF
 - Comunicações SHF EHF (Satélite / Microondas)
- Antenas
- Projetos de Enlaces
- Tópicos Extras



2- Ondas Eletromagnéticas

2.1 – Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

2.2 - Geração de Ondas Eletromagnéticas

2.3 - Espectro Eletromagnético

2.3.1 - Raios Cósmicos

2.3.2 - Raios Gamma

2.3.3 - Raios-X

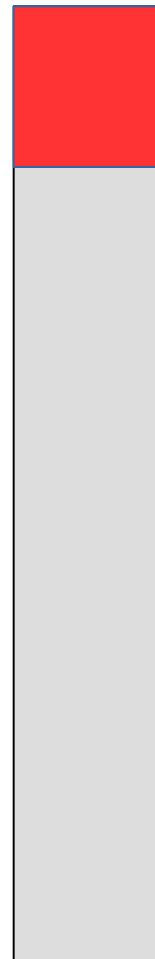
2.3.4 - Raios Ultravioleta

2.3.5 - Luz Visível

2.3.6 - Infravermelho

2.3.7 - Micro-ondas

2.3.8 - Ondas de Rádio



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

Frequência:

Em ondas eletromagnéticas é comum expressar em seus múltiplos:

10^3 Hz – 1000 Hz	(ciclos/seg) – quilo-hertz – kHz
10^6 Hz – 1.000.000 Hz	(ciclos/seg) – mega-hertz - MHz
10^9 Hz – 1.000.000.000 Hz	(ciclos/seg) – giga-hertz - GHz
10^{12} Hz – 1.000.000.000.000 Hz	(ciclos/seg) – tera-hertz - THz

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

A agência responsável pela divisão das faixas de frequência é o ITU (União Internacional de Telecomunicações).

É uma agência da ONU especializada em tecnologias de informação e comunicação

Os principais setores da ITU são:

- ITU-R: gestão do espectro de radiofrequência e recursos de órbita de satélite
- ITU-D: acesso as comunicações
- ITU-T: padrões e normas

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

Conforme a frequência (f) e, por conseguinte, seu comprimento de onda, as ondas eletromagnéticas recebem nomes diferentes.

O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas, distribuídas em função da sua frequência, é denominado espectro eletromagnético.

As radiações eletromagnéticas são classificadas em regiões de acordo com seu comprimento de onda em e as formas de obtenção são as seguintes:

Frequência (Hz)	Comprimento de onda (m)	Forma usual de obtenção
10^{23} 10^{22} 10^{21} 10^{20} 10^{19}	10^{-14} 10^{-13} 10^{-12} 10^{-11} 10^{-10}	• Transições nucleares
10^{18} 10^{17}	10^{-8} 10^{-7}	(1 Å) (1 nm)
10^{16} 10^{15}	10^{-6} 10^{-5}	• Transições eletrônicas nos átomos (materiais fosforescentes) • Agitação térmica (lâmpadas incandescentes) • Colisões de elétrons com obstáculos (tubos de TV, tubos de raios X)
10^{14} 10^{13} 10^{12}	10^{-4} 10^{-3} 10^{-2}	(1 μm) (1 mm)
10^{11} 10^{10} 10^9	10^{-1} 1 10^1	(1 m)
10^8 10^7 10^6	10^2 10^3 10^4	(1 km)
10^5 10^4 10^3 10^2 10	10^5 10^6 10^7 10^8 10^9	

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

As faixas de frequência do espectro de radiação vão de zero até o infinito.

O espectro eletromagnético foi dividido em bandas com designação alfabética.

É comum utilizar as seguintes bandas, com as seguintes nomenclaturas definidas pelo ITU:

```
Y - Gamma Rays

X-Rays
HX - Hard X-Rays
SX - Soft X-Rays

Ultraviolet
EUU - Extreme Ultraviolet
FUV - Far Ultraviolet
NUU - Near Ultraviolet

Infrared
NIR - Near Infrared
MIR - Moderate Infrared
FIR - Far Infrared

Microwaves
EHF - Extremely High Frequency
SHF - Super High Frequency
UHF - Ultra High Frequency

Radio Wave
VHF - Very High Frequency
HF - High Frequency
MF - Medium Frequency
LF - Low Frequency
ULF - Very Low Frequency

Electric and Audio Waves
SLF - Super Low Frequency
ELF - Extremely Low Frequency
TLF - Tremendously Low Frequency
```

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético



γ - Gamma Rays
X-Rays
 HX - Hard X-Rays
 SX - Soft X-Rays
Ultraviolet
 EUV - Extreme Ultraviolet
 FUV - Far Ultraviolet
 NUU - Near Ultraviolet
Infrared
 NIR - Near Infrared
 MIR - Moderate Infrared
 FIR - Far Infrared
Microwaves
 EHF - Extremely High Frequency
 SHF - Super High Frequency
 UHF - Ultra High Frequency
Radio Wave
 VHF - Very High Frequency
 HF - High Frequency
 MF - Medium Frequency
 LF - Low Frequency
 ULF - Very Low Frequency
Electric and Audio Waves
 SLF - Super Low Frequency
 ELF - Extremely Low Frequency
 TLF - Tremendously Low Frequency

	TLF	ELF	SLF	ULF	ULF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF	sub mm	FIR	MIR	NIR	NUU	FUV	EUV	SX	HX	COSMIC RAY					
f	ELECTRIC and AUDIO WAVES				RADIO WAVES					MICROWAVES				INFRARED			ULTRAVIOLET			X-RAY		γ RAY					
f	...	3 HZ	30 HZ	300 HZ	3 KHZ	30 KHZ	300 KHZ	3 MHZ	30 MHZ	300 MHZ	3 GHZ	30 GHZ	300 GHZ	3 THZ	6 THZ	100 THZ	380 THZ	380 THZ	79.0 THZ	1.5 PHZ	6 PHZ	300 PHZ	3 EHZ	30 EHZ	75 EHZ	...	
f*10^X	...	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	...
λ	...	100 Mm	10 Mm	1 Mm	100 Km	10 Km	1 Km	100 m	10 m	1 m	10 cm	1 cm	1 mm	100 μm	50 μm	3 μm	780 nm	380 nm	200 nm	50 nm	1 nm	100 pm	10 pm	4 pm	...		
m*10^X		10	10	10	10	10	10	10	10	10	-2	-2	-3	-6	-6	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-12	-12	-12			

← Non-Ionizing Radiation | Ionizing Radiation →

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético



TLF	ELF	SLF	ULF	ULF	LF	MF	HF	UHF	UHF	SHF	EHF	Sub mm	FIR	NIR	NIR	LIGHT	NUV	FUV	EUU	SU	MX	COSMIC RAY		
ELECTRIC and AUDIO WAVES			RADIO WAVES									MICROWAVES			INFRARED			ULTRAVIOLET			X-RAY		Y RAY	
...	3 HZ	30 HZ	300 HZ	3 KHZ	30 KHZ	300 KHZ	3 MHZ	30 MHZ	300 MHZ	3 GHZ	30 GHZ	3 THZ	6 THZ	100 THZ	380 THZ	380 THZ	1.5 PHZ	6 PHZ	300 PHZ	3 EHZ	30 EHZ	75 EHZ	...	
...	100 Km	1.0 Km	1 Km	100 Km	10 Km	1 Km	100 m	10 m	1 m	10 cm	1 cm	1 mm	100 μm	50 μm	3 μm	780 nm	380 nm	200 nm	50 nm	1 nm	100 μm	10 μm	4 μm	...



2- Ondas Eletromagnéticas

2.1 – Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

2.2 - Geração de Ondas Eletromagnéticas

2.3 - Espectro Eletromagnético

2.3.1 - Raios Cósmicos

2.3.2 - Raios Gamma

2.3.3 - Raios-X

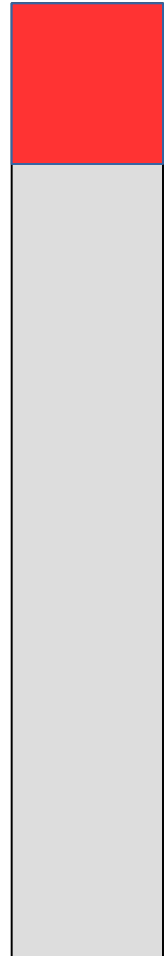
2.3.4 - Raios Ultravioleta

2.3.5 - Luz Visível

2.3.6 - Infravermelho

2.3.7 - Micro-ondas

2.3.8 - Ondas de Rádio

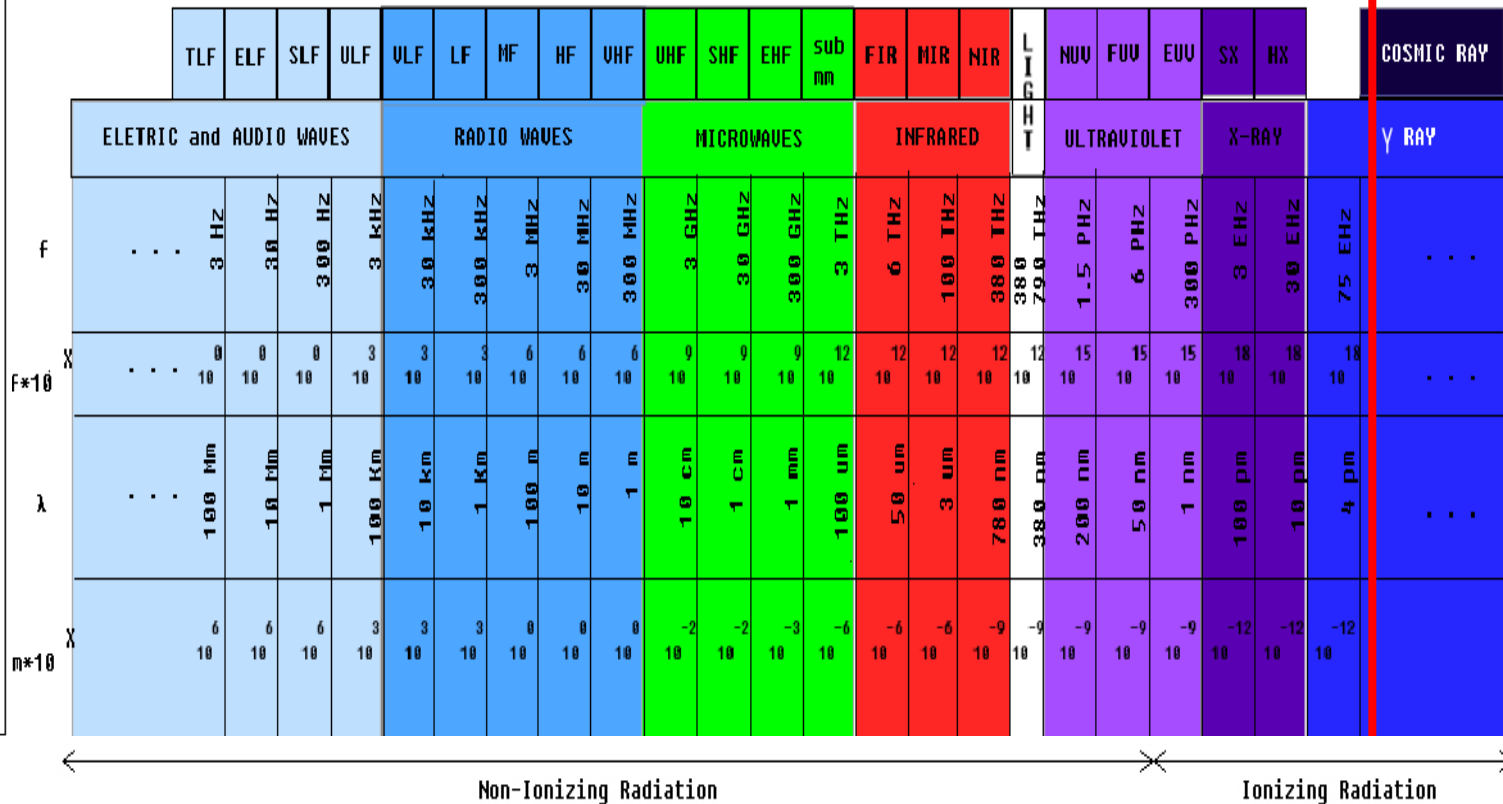


2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.1 Raios Cósmiticos



γ	- Gamma Rays
X-Rays	
HX	- Hard X-Rays
SX	- Soft X-Rays
Ultraviolet	
EUU	- Extreme Ultraviolet
FUV	- Far Ultraviolet
NUV	- Near Ultraviolet
Infrared	
NIR	- Near Infrared
MIR	- Moderate Infrared
FIR	- Far Infrared
Microwaves	
EHF	- Extremely High Frequency
SHF	- Super High Frequency
UHF	- Ultra High Frequency
Radio Wave	
VHF	- Very High Frequency
HF	- High Frequency
MF	- Medium Frequency
LF	- Low Frequency
ULF	- Very Low Frequency
Electric and Audio Waves	
SLF	- Super Low Frequency
ELF	- Extremely Low Frequency
TLF	- Tremendously Low Frequency



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.1 Raios Cósmico

São partículas extremamente penetrantes, dotadas de alta energia

É a faixa do espectro eletromagnético mais energética , 10^9 a 10^{21} eV

Menor comprimento de onda, na ordem de: 4pm ~

Frequência na ordem de: +75 Ehz

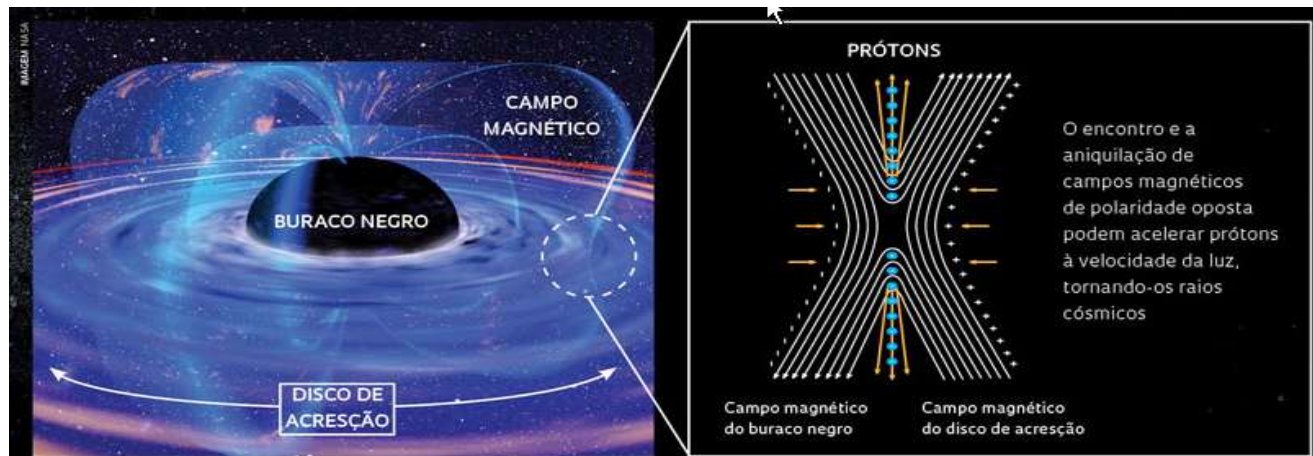
Múltiplo	Nome	Símbolo
10^0	-hertz	Hz
10^1	deca-hertz	daHz
10^2	hecto-hertz	hHz
10^3	quilo-hertz	kHz
10^6	mega-hertz	MHz
10^9	giga-hertz	GHz
10^{12}	tera-hertz	THz
10^{15}	peeta-hertz	PHz
10^{18}	exa-hertz	EHz
10^{21}	zetta-hertz	ZHz
10^{24}	yotta-hertz	YHz

Submúltiplo	Nome	Símbolo
10^0	metro	m
10^{-1}	decímetro	dm
10^{-2}	centímetro	cm
10^{-3}	milímetro	mm
10^{-6}	micrometro	μm
10^{-9}	nanometro	nm
10^{-12}	picometro	pm
10^{-15}	femtómetro/fentómetro ⁴	fm
10^{-18}	attometro/atometro ⁴	am
10^{-21}	zeptómetro / / zeptómetro ⁴	zm
10^{-24}	yoctómetro / / ioctómetro ⁴	ym

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.1 Raios Cósmico

Essas partículas tem origem indefinida, alguns podem ser a partir do campo magnético de um buraco negro,



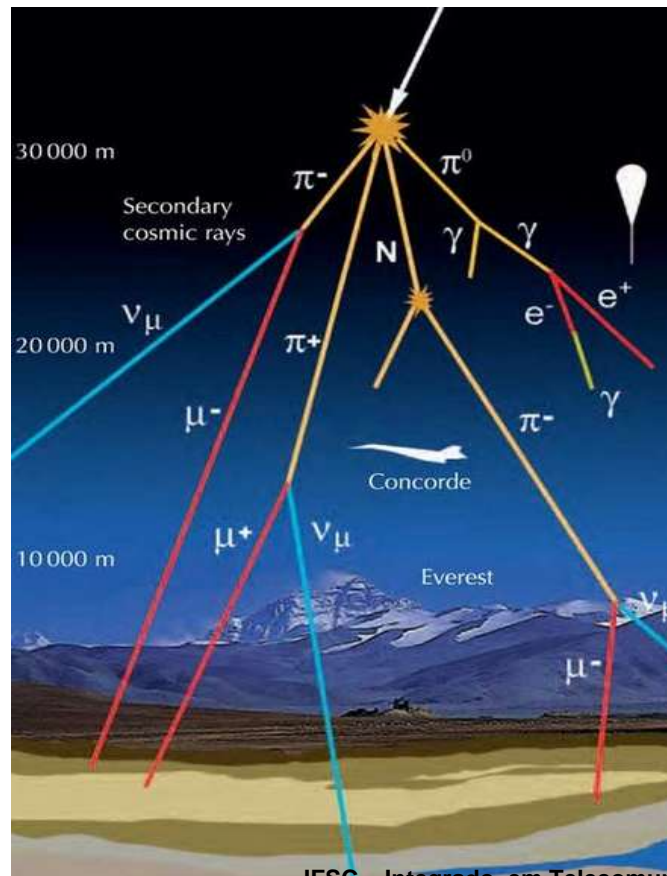
outros podem ser a partir da explosão de uma supernova.



2. Ondas Eletromagnéticas – Espectro Eletromagnético – Raios Cósmito

2.3.1 Raios Cósmito

Essas partículas, ao chegarem a Terra, colidem com os núcleos dos átomos da atmosfera, a cerca de 10 km acima da superfície do planeta e dão origem a outras partículas, trilhões delas, formando uma “chuva” de partículas com menos energia, chamado de raios cósmitos secundários.



2- Ondas Eletromagnéticas

2.1 – Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

2.2 - Geração de Ondas Eletromagnéticas

2.3 - Espectro Eletromagnético

2.3.1 - Raios Cósmicos

2.3.2 - Raios Gamma

2.3.3 - Raios-X

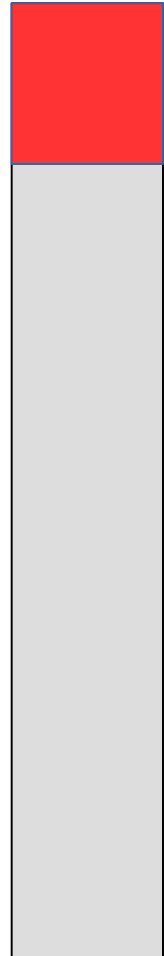
2.3.4 - Raios Ultravioleta

2.3.5 - Luz Visível

2.3.6 - Infravermelho

2.3.7 - Micro-ondas

2.3.8 - Ondas de Rádio



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.2 – Raios Gama (γ)

γ - Gamma Rays

X-Rays
 HX - Hard X-Rays
 SX - Soft X-Rays

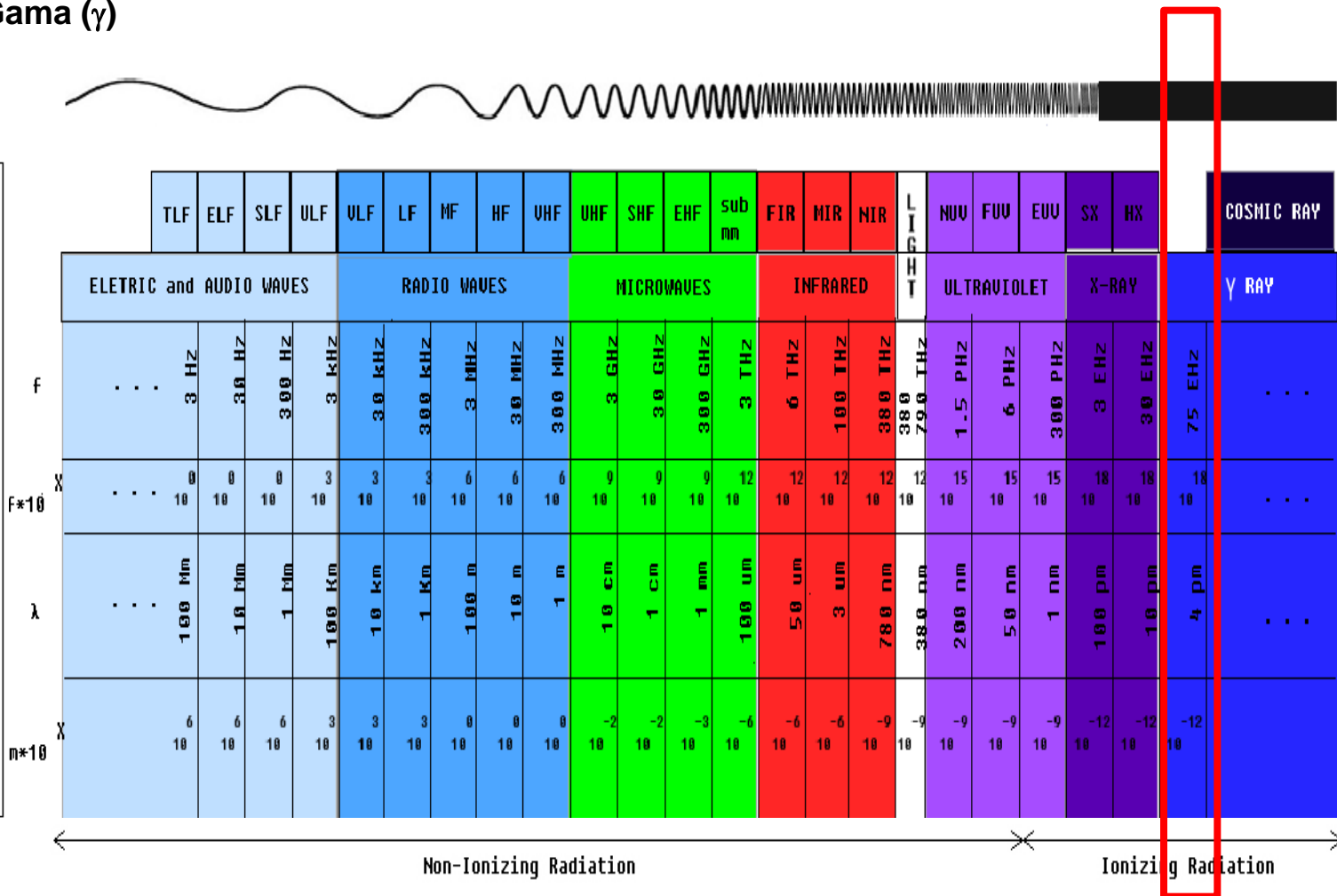
Ultraviolet
 EUV - Extreme Ultraviolet
 FUV - Far Ultraviolet
 NUU - Near Ultraviolet

Infrared
 NIR - Near Infrared
 MIR - Moderate Infrared
 FIR - Far Infrared

Microwaves
 EHF - Extremely High Frequency
 SHF - Super High Frequency
 UHF - Ultra High Frequency

Radio Wave
 VHF - Very High Frequency
 HF - High Frequency
 MF - Medium Frequency
 LF - Low Frequency
 ULF - Very Low Frequency

Electric and Audio Waves
 SLF - Super Low Frequency
 ELF - Extremely Low Frequency
 TLF - Tremendously Low Frequency



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.2 – Raios Gama (γ)

É a faixa do espectro eletromagnético mais energética , 124 keV (10.000x mais energia que os fótons da luz visível)

comprimento de onda, na ordem de: 10 pm ~ +4pm

Frequência na ordem de 30 Ehz ~ +75 Ehz

Múltiplo	Nome	Símbolo
10^0	-hertz	Hz
10^1	deca-hertz	daHz
10^2	hecto-hertz	hHz
10^3	quilo-hertz	kHz
10^6	mega-hertz	MHz
10^9	giga-hertz	GHz
10^{12}	tera-hertz	THz
10^{15}	peeta-hertz	PHz
10^{18}	exa-hertz	EHz
10^{21}	zetta-hertz	ZHz
10^{24}	yotta-hertz	YHz

Submúltiplo	Nome	Símbolo
10^0	metro	m
10^{-1}	decímetro	dm
10^{-2}	centímetro	cm
10^{-3}	milímetro	mm
10^{-6}	micrometro	μm
10^{-9}	nanometro	nm
10^{-12}	picometro	pm
10^{-15}	femtómetro/fentómetro ⁴	fm
10^{-18}	attometro/atometro ⁴	am
10^{-21}	zeptómetro / / zeptómetro ⁴	zm
10^{-24}	yoctómetro / / ioctómetro ⁴	ym

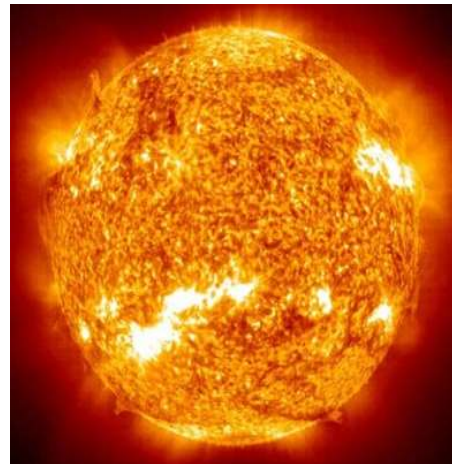
2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.2 – Raios Gama (γ)

São produzidos na passagem de um núcleo de um nível excitado para outro de menor energia.

Ex: Fissão Nuclear, reatores nucleares, Quasares, Explosões Solares, ou no decorrer de desintegrações radioativas.

Na explosão de uma arma nuclear há uma enorme emissão destas radiações, sendo este um dos motivos do grande perigo que tal tipo de arma representa para a humanidade.

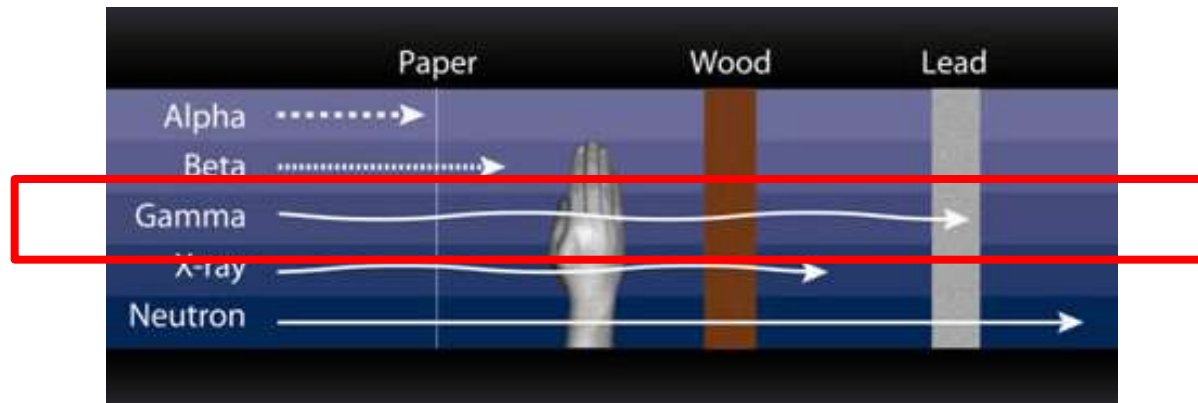


2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.2 – Raios Gama (γ)

São muito penetrantes, podendo atravessar placas de chumbo de até 20 cm.

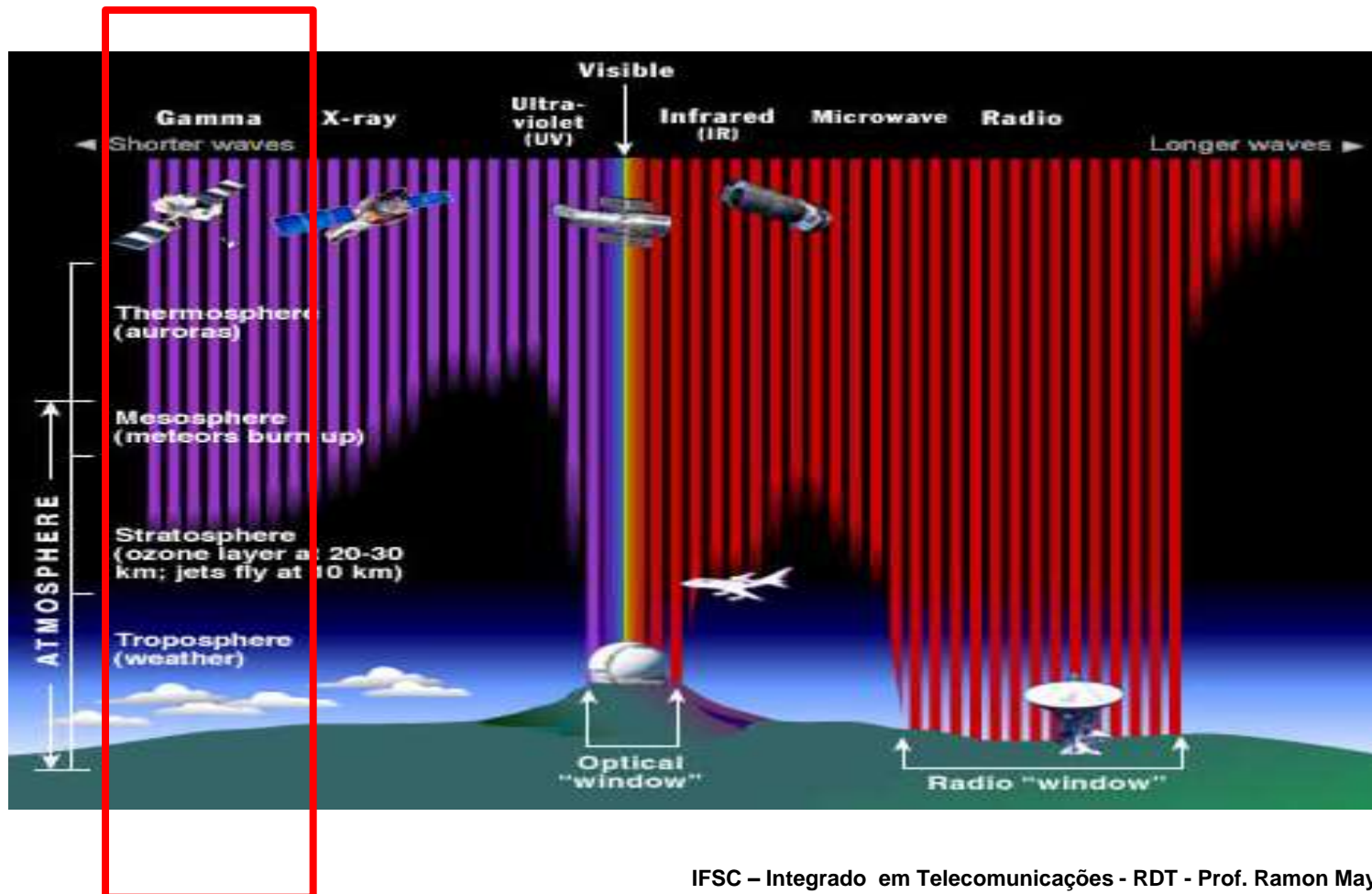
Muito perigosos, destroem as células, particularidade que permite seu uso em radioterapia para destruição de tumores.



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.2 – Raios Gama (γ)

Os raios gama produzidos no espaço não chegam à superfície da Terra, pois são absorvidos na parte mais alta da atmosfera.



2- Ondas Eletromagnéticas

2.1 – Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

2.2 - Geração de Ondas Eletromagnéticas

2.3 - Espectro Eletromagnético

2.3.1 - Raios Cósmicos

2.3.2 - Raios Gamma

2.3.3 - Raios-X

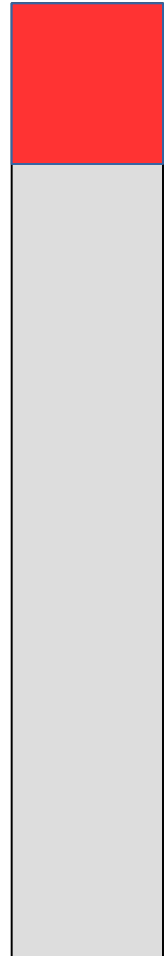
2.3.4 - Raios Ultravioleta

2.3.5 - Luz Visível

2.3.6 - Infravermelho

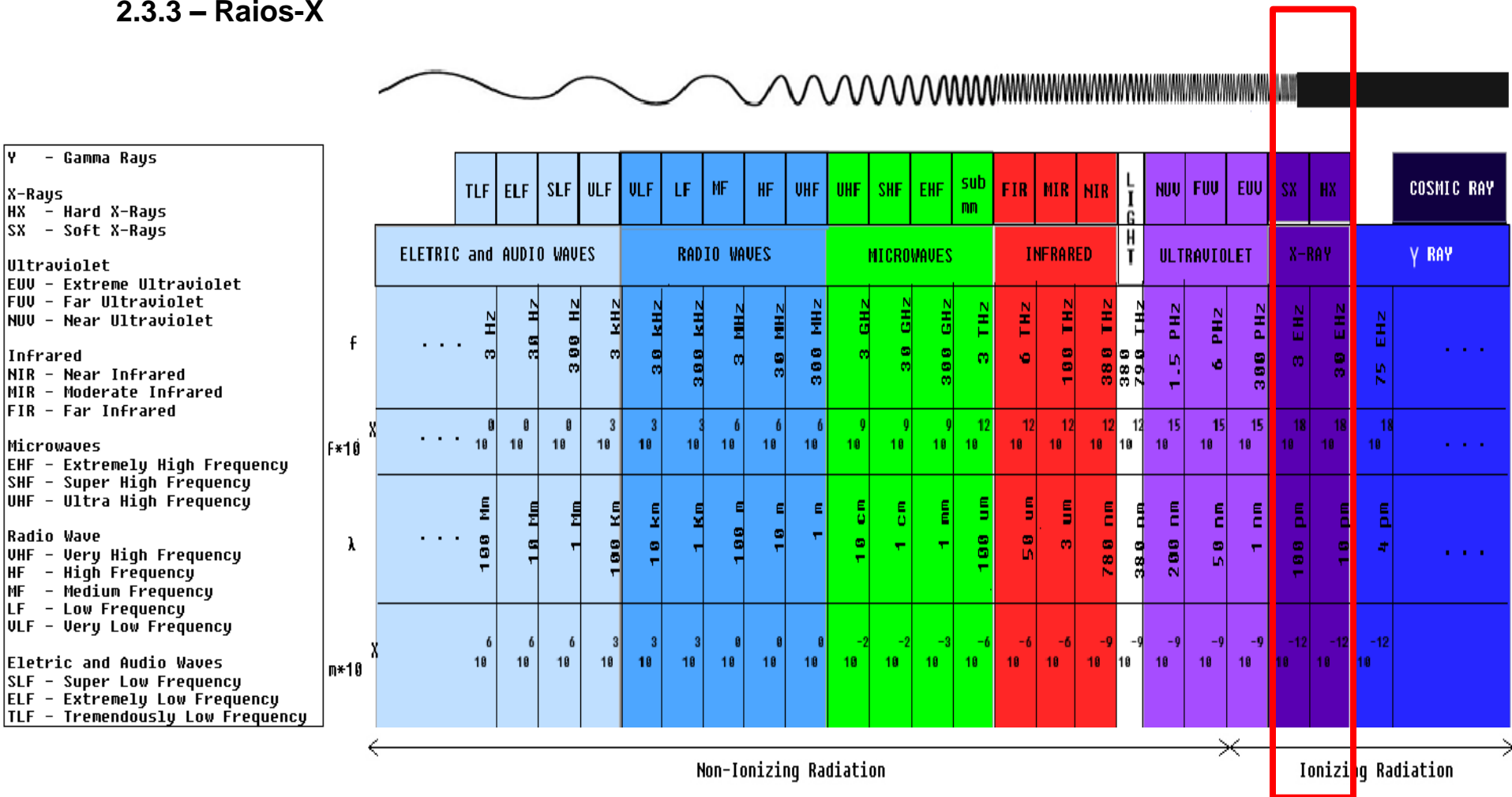
2.3.7 - Micro-ondas

2.3.8 - Ondas de Rádio



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.3 – Raios-X



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.3 – Raios-X

O nome X ao raio, se deve ao fato que na sua descoberta pouco se sabia sobre o fenômeno.

É a faixa do espectro eletromagnético com energia entre, 1.24 keV ~ 124 keV

comprimento de onda, na ordem de: 1nm ~ 10pm (tamanho de átomos)

Frequência na ordem de: 300 PHz ~ 30 Ehz

Múltiplo	Nome	Símbolo
10^0	-hertz	Hz
10^1	deca-hertz	daHz
10^2	hecto-hertz	hHz
10^3	quilo-hertz	kHz
10^6	mega-hertz	MHz
10^9	giga-hertz	GHz
10^{12}	tera-hertz	THz
10^{15}	peta-hertz	PHz
10^{18}	exa-hertz	EHz
10^{21}	zetta-hertz	ZHz
10^{24}	yotta-hertz	YHz

Submúltiplo	Nome	Símbolo
10^0	metro	m
10^{-1}	decímetro	dm
10^{-2}	centímetro	cm
10^{-3}	milímetro	mm
10^{-6}	micrometro	μm
10^{-9}	nanometro	nm
10^{-12}	picometro	pm
10^{-15}	fentômetro/fentômetro ⁴	fm
10^{-18}	attometro/atometro ⁴	am
10^{-21}	zeptômetro / / zeptômetro ⁴	zm
10^{-24}	yoctômetro / / ioctômetro ⁴	ym

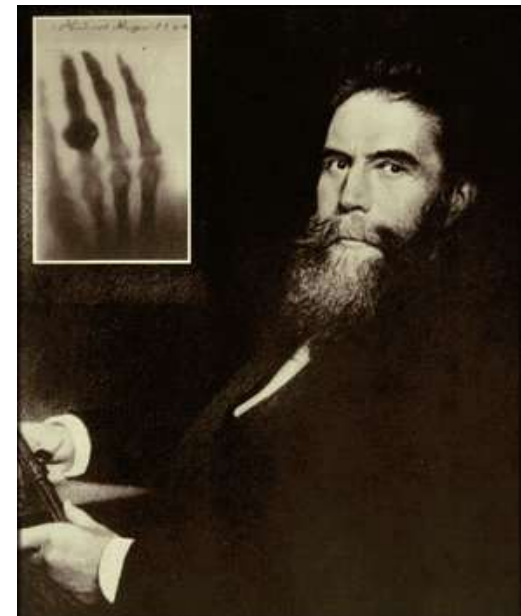
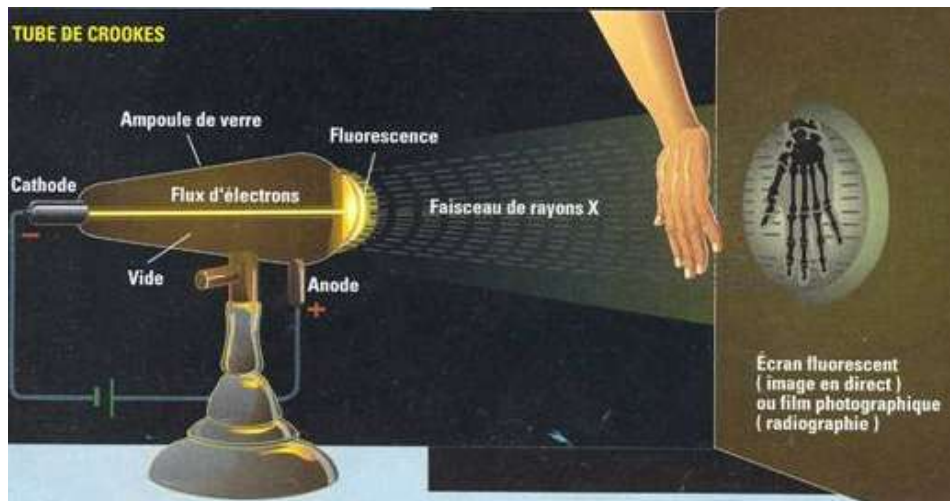
2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.3 – Raios-X

A descoberta foi do físico Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) quem detectou pela primeira vez os raios X.

Röntgen percebeu que quando fornecia energia cinética aos elétrons em tubos de crookes, estes emitiam uma radiação que marcava uma chapa fotográfica.

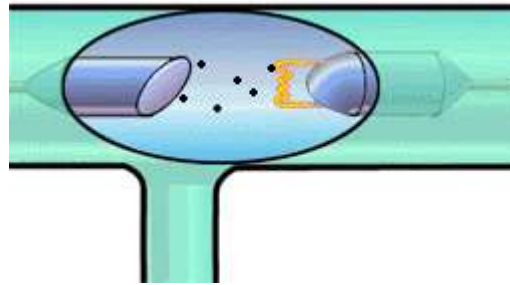
Após exaustivas experiências com objetos inanimados, Röntgen pediu à sua esposa que posicionasse sua mão entre o dispositivo e o papel fotográfico.



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.3 – Raios-X

Raios X podem ser produzidos quando elétrons são acelerados em direção a um alvo metálico.



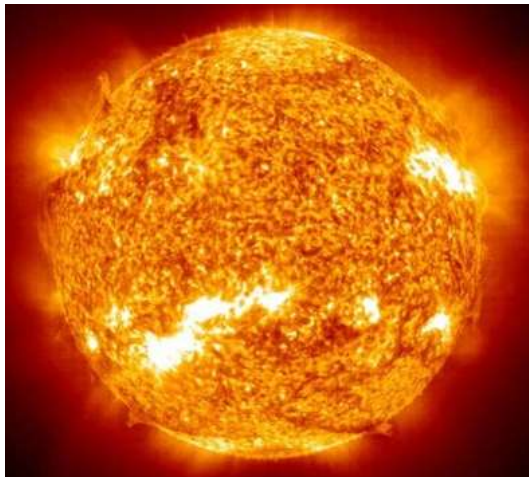
O choque do feixe de elétrons (que saem do catodo com energia de dezenas de KeV) com o anodo (alvo) produz o raios X.

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.3 – Raios-X

Objetos astronômicos emitem raios-X quando há matéria demasiadamente quente, entre um milhão e centenas de milhões de Kelvins.

Exemplo de fontes de Raios-X: Sol, outras estrelas e galáxias.



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

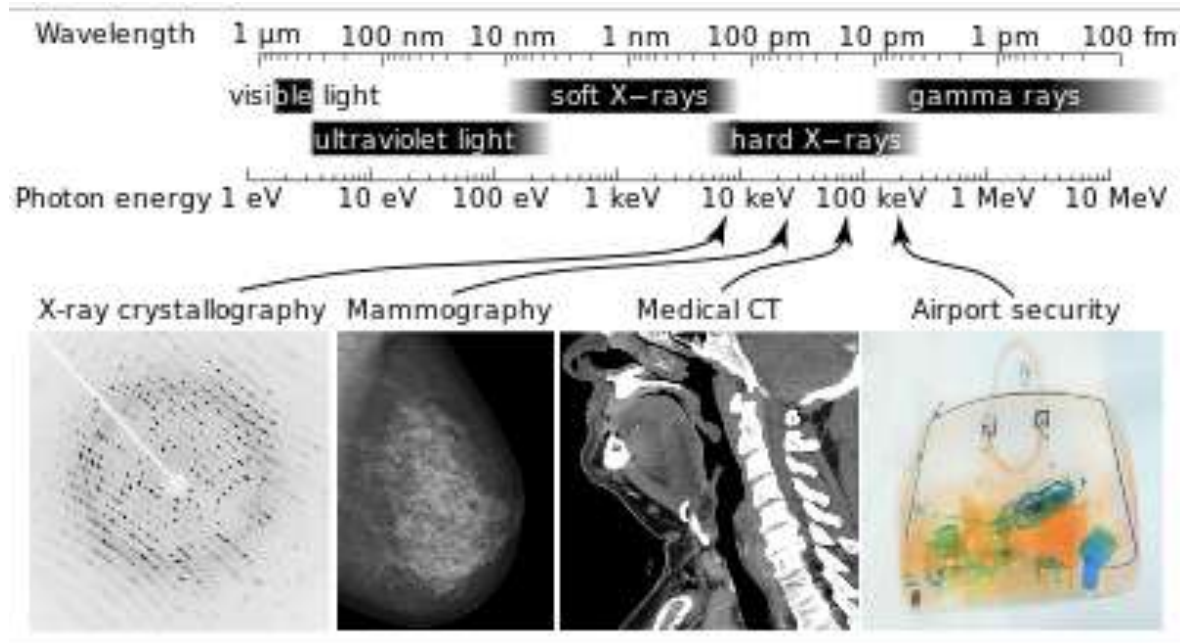
2.3.3 – Raios-X

Os Raios-X se dividem em: Hard Raio-X e Soft Raio-X

1 nm	10 ¹⁵	300 PHz	X-RAY	SX
100 pm	10 ¹⁶	3 EHz		
10 pm	10 ¹⁷	30 EHz		HX

SX- Hard Raio-X: são os de maiores energia, podem penetrar mais profundamente que o Soft Raio-X

HX- Soft Raio-X: são os de menores energia

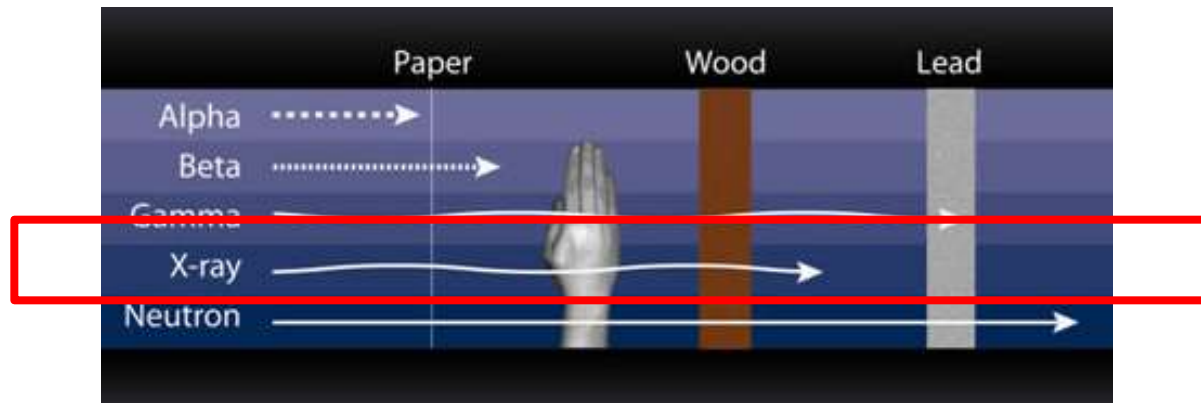


2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.3 – Raios-X

A energia dessa energia eletromagnética se deve à transição de elétrons nos átomos, ou da desaceleração de partículas carregadas.

Penetram profundamente na matéria antes de interagir com um átomo.

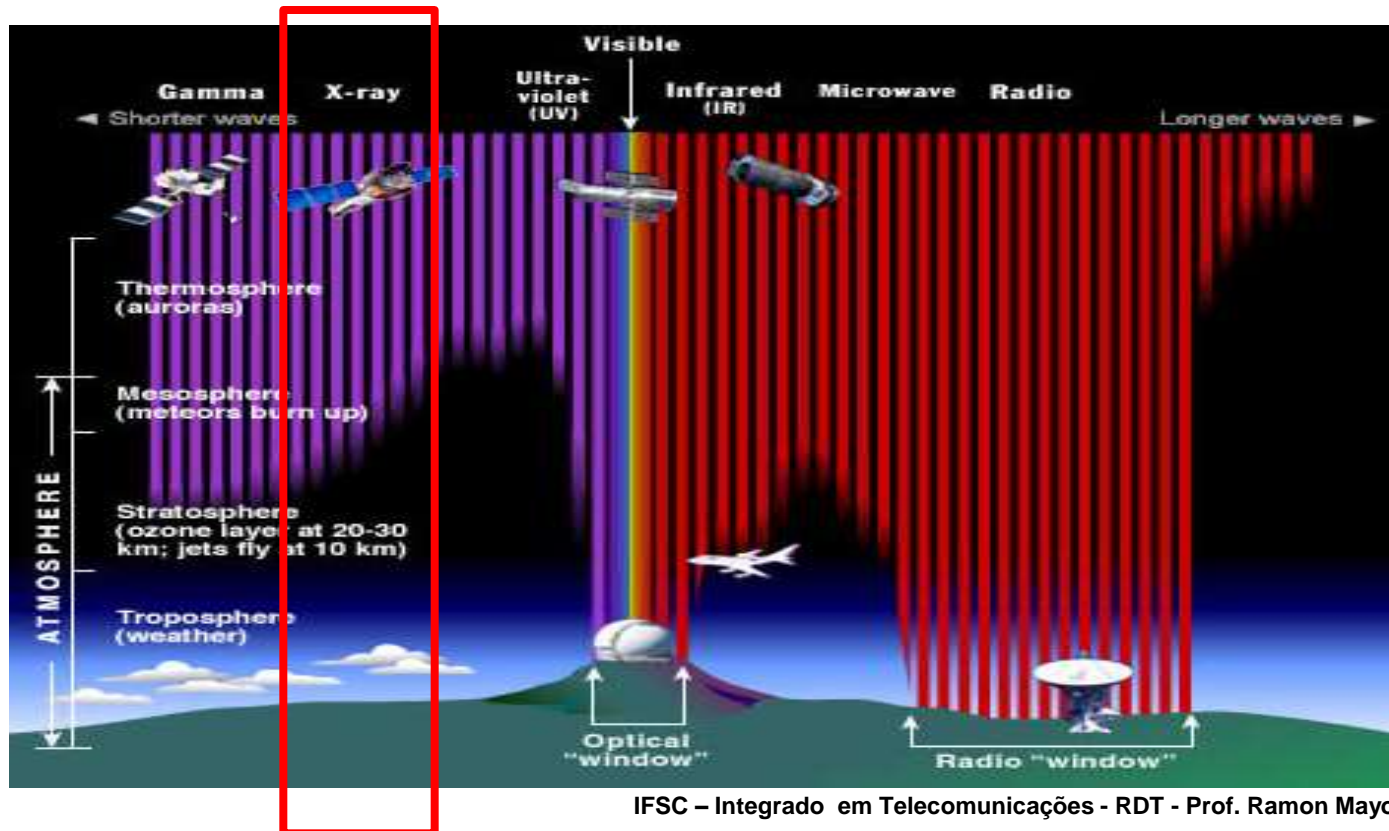


2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.3 – Raios-X

Os Raios-X não penetram na atmosfera da Terra, por isso a observação dessas ondas é realizada a partir de instrumentos lançados acima da atmosfera (balões, satélites, etc).

Apesar de não penetrarem , podem interferir em comunicações que utilizam a atmosfera ou acima dela. (Ex: HF, Satélites)



2- Ondas Eletromagnéticas

2.1 – Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

2.2 - Geração de Ondas Eletromagnéticas

2.3 - Espectro Eletromagnético

2.3.1 - Raios Cósmitos

2.3.2 - Raios Gamma

2.3.3 - Raios-X

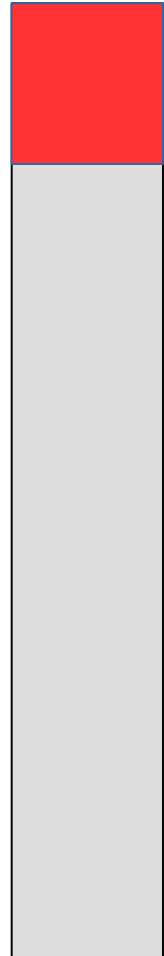
2.3.4 - Raios Ultravioleta

2.3.5 - Luz Visível

2.3.6 - Infravermelho

2.3.7 - Micro-ondas

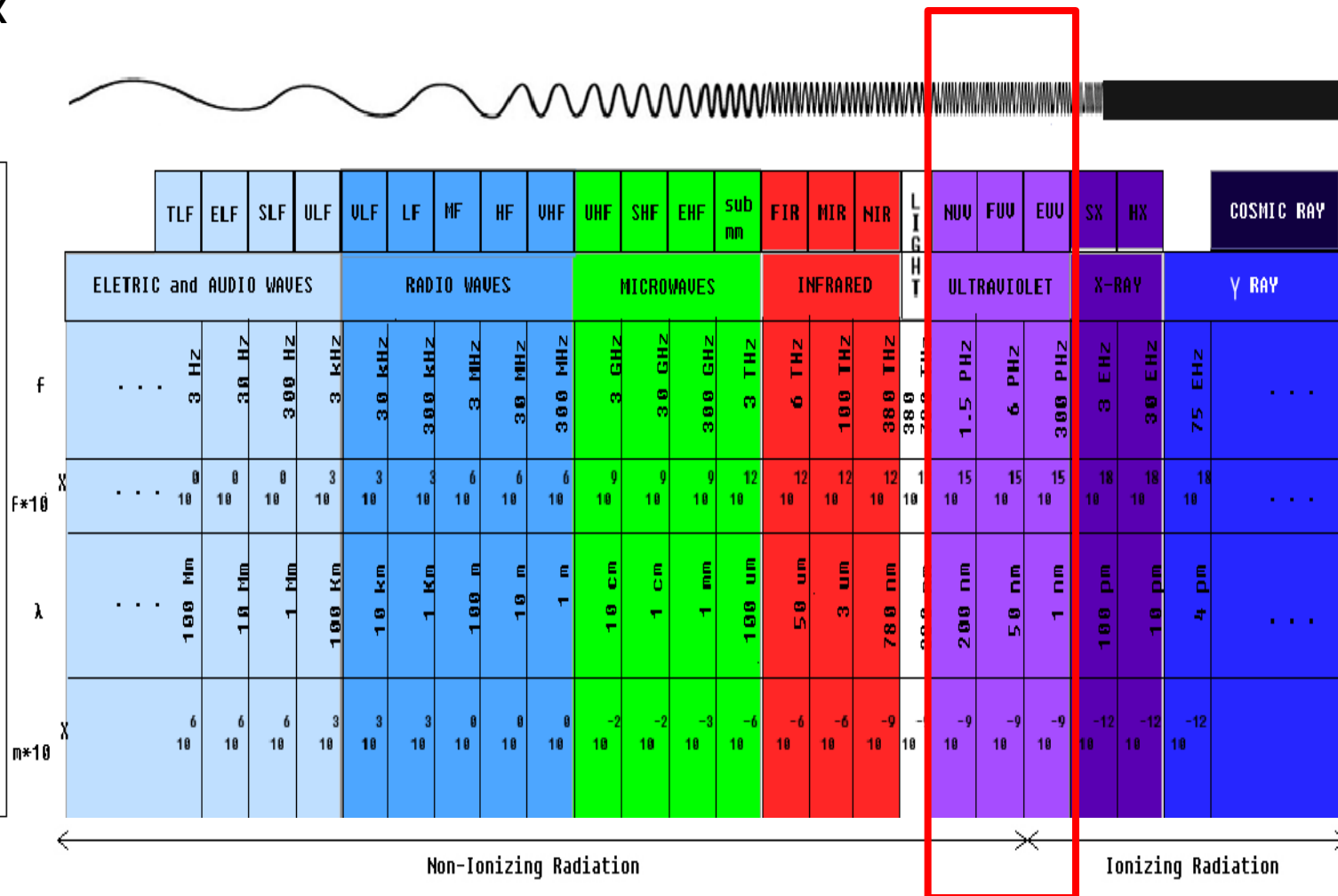
2.3.8 - Ondas de Rádio



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.3 – Raios-X

γ - Gamma Rays
X-Rays
HX - Hard X-Rays
SX - Soft X-Rays
Ultraviolet
EUU - Extreme Ultraviolet
FUV - Far Ultraviolet
NUV - Near Ultraviolet
Infrared
NIR - Near Infrared
MIR - Moderate Infrared
FIR - Far Infrared
Microwaves
EHF - Extremely High Frequency
SHF - Super High Frequency
UHF - Ultra High Frequency
Radio Wave
VHF - Very High Frequency
HF - High Frequency
MF - Medium Frequency
LF - Low Frequency
ULF - Very Low Frequency
Electric and Audio Waves
SLF - Super Low Frequency
ELF - Extremely Low Frequency
TLF - Tremendously Low Frequency



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.4 – Raio Ultravioleta

O nome ultra vem do latim que significa “além do”.

Alem do violeta , pelo fato que violeta é o limite do espectro visível.

É a faixa do espectro eletromagnético com energia entre, 3.26 eV ~ 1.24 keV

comprimento de onda, na ordem de: 380nm ~ 1nm (tamanho de um vírus)

Frequência na ordem de: 700 THz ~ 300 Phz

Múltiplo	Nome	Símbolo
10^0	-hertz	Hz
10^1	deca-hertz	daHz
10^2	hecto-hertz	hHz
10^3	quilo-hertz	kHz
10^6	mega-hertz	MHz
10^9	giga-hertz	GHz
10^{12}	tera-hertz	THz
10^{15}	peta-hertz	PHz
10^{18}	exa-hertz	EHz
10^{21}	zetta-hertz	ZHz
10^{24}	yotta-hertz	YHz

Submúltiplo	Nome	Símbolo
10^0	metro	m
10^{-1}	decímetro	dm
10^{-2}	centímetro	cm
10^{-3}	milímetro	mm
10^{-6}	micrometro	μm
10^{-9}	nanometro	nm
10^{-12}	picometro	pm
10^{-15}	fentômetro/fentômetro ⁴	fm
10^{-18}	attometro/atometro ⁴	am
10^{-21}	zeptômetro / / zeptômetro ⁴	zm
10^{-24}	yoctômetro / / ioctômetro ⁴	ym

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.4 – Raio Ultravioleta

O espectro eletromagnético da luz ultravioleta pode ser dividido de várias formas. A norma ISO sobre determinação de irradiância solar (ISO-21348:2007)¹ descreve as seguintes faixas:

A radiação UV pode ser subdividida em UV próximo (comprimento de onda de 380 até 200 nm - mais próximo da luz visível), UV distante (de 200 até 10 nm) e UV extremo (de 1 a 31 nm).

Name	Abbreviation	Wavelength range (in nanometres)	Energy per photon (in electronvolts)	Notes / alternative names
Ultraviolet A	UVA	400 – 315 nm	3.10 – 3.94 eV	long wave, black light , not absorbed by the ozone layer
Ultraviolet B	UVB	315 – 280 nm	3.94 – 4.43 eV	medium wave, mostly absorbed by the ozone layer
Ultraviolet C	UVC	280 – 100 nm	4.43 – 12.4 eV	short wave, germicidal , completely absorbed by the ozone layer and atmosphere
Near Ultraviolet	NUV	400 – 300 nm	3.10 – 4.13 eV	visible to birds, insects and fish
Middle Ultraviolet	MUV	300 – 200 nm	4.13 – 6.20 eV	
Far Ultraviolet	FUV	200 – 122 nm	6.20 – 10.16 eV	
Hydrogen Lyman-alpha	H Lyman- α	122 – 121 nm	10.16 – 10.25 eV	spectral line at 121.6 nm, 10.20 eV. Ionizing radiation at shorter wavelengths
Vacuum Ultraviolet	VUV	200 – 10 nm	6.20 – 124 eV	strongly absorbed by atmospheric oxygen, though 150–200 nm wavelengths can propagate through nitrogen
Extreme Ultraviolet	EUV	121 – 10 nm	10.25 – 124 eV	entirely ionizing radiation by some definitions; completely absorbed by the atmosphere

12	790 THz	ULTRAVIOLET	NUV FUV EUV
18	1.5 PHz		
15	6 PHz		
18	300 PHz		

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

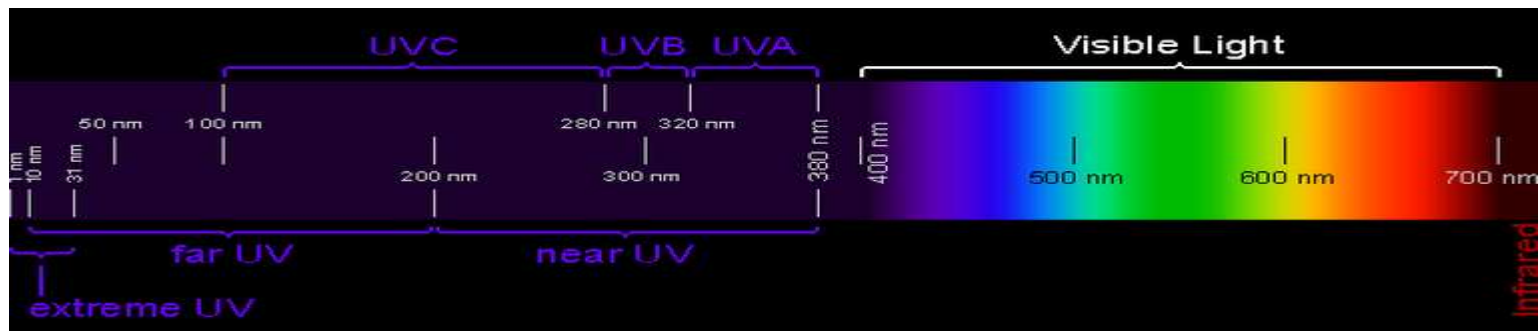
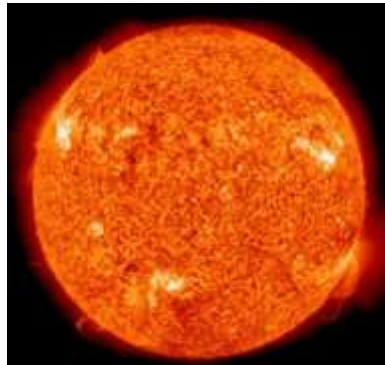
2.3.4 – Raio Ultravioleta

Fontes de UV:

O Sol é a principal fonte,

Os objetos muito quentes da natureza emitem radiação UV.

O Sol emite radiação ultravioleta em vários comprimentos de onda.



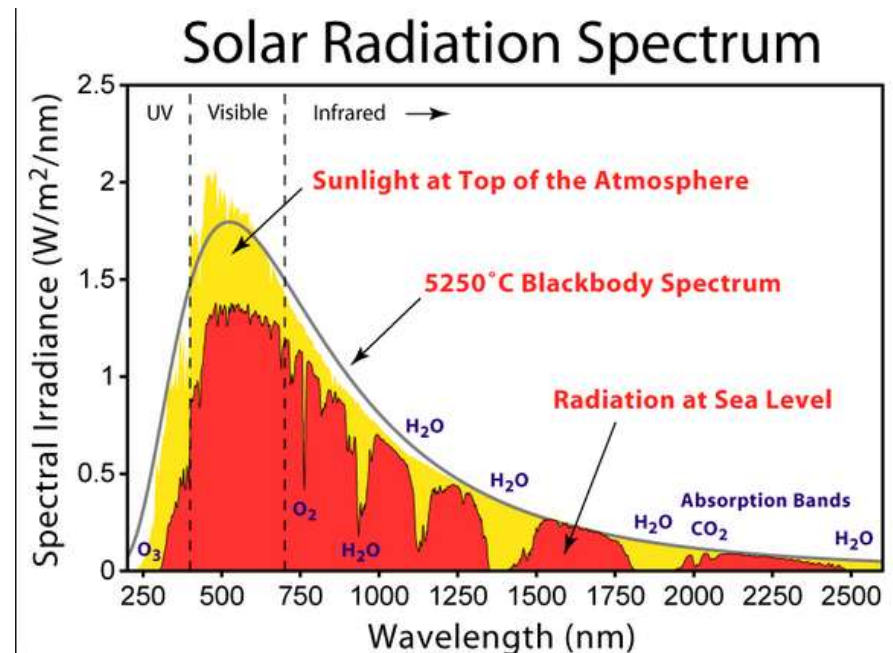
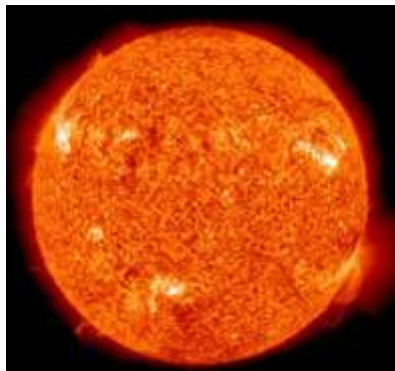
2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.4 – Raio Ultravioleta

Fontes de UV:

Grande parte da RUV emitida pelo Sol que chega a Terra é UVA, seguida respectivamente pelas radiações UVB e UVC.

38,9% da radiação que chega na Terra é na Faixa Visível, enquanto 52,8% é infravermelho (IV) o restante é Luz Visível:



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

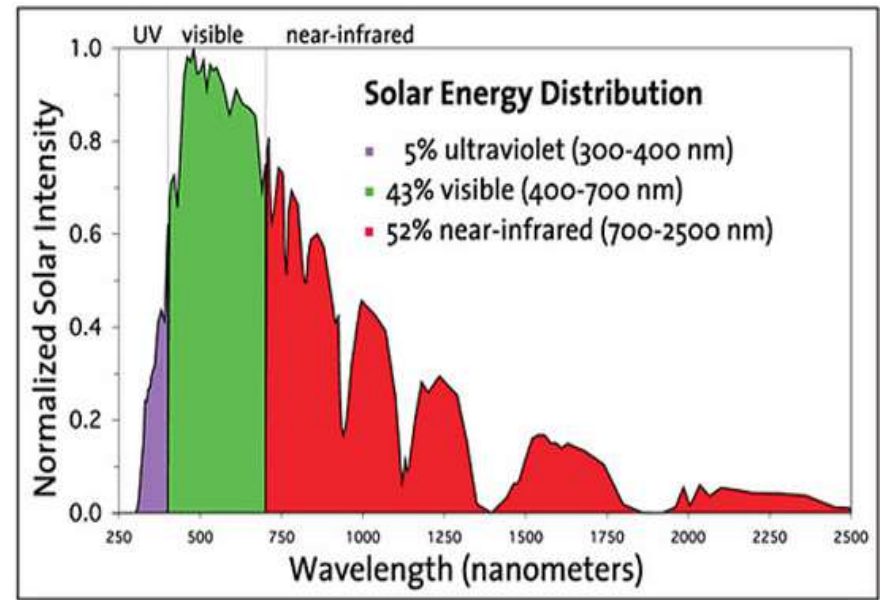
2.3.4 – Raio Ultravioleta

Fontes de UV:

Ao nível do solo 43% de luz visível, 5% Ultravioleta e o restante com infravermelho.

Da radiação ultravioleta que atinge a superfície da Terra, mais do que 95% é o mais longos comprimentos de onda de UVA, UVB com o restante pequeno.

Não há praticamente nenhum UVC.



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.4 – Raio Ultravioleta

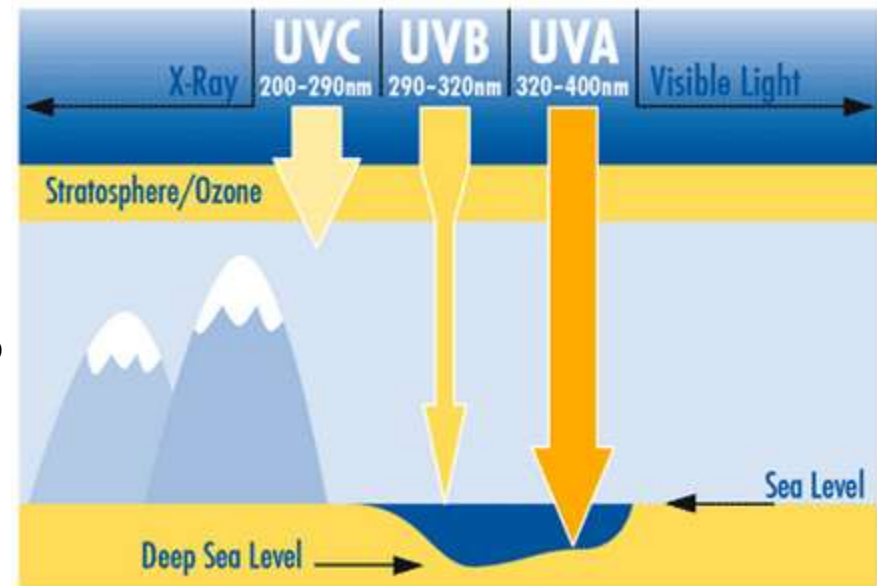
Absorção da Radiação na Terra:

A fração de UVB que permanece na luz UV após a passagem pela atmosfera é fortemente dependente de cobertura de nuvens e das condições atmosféricas.

Grossas nuvens bloqueiam UVB;

UVC, bem como até mesmo a radiação UV mais-energética produzida pelo Sol, são absorvidos pelo oxigênio

A camada de ozônio é especialmente importante no bloqueio de UVB e a parte restante de UVC já não bloqueados pelo oxigênio no ar.

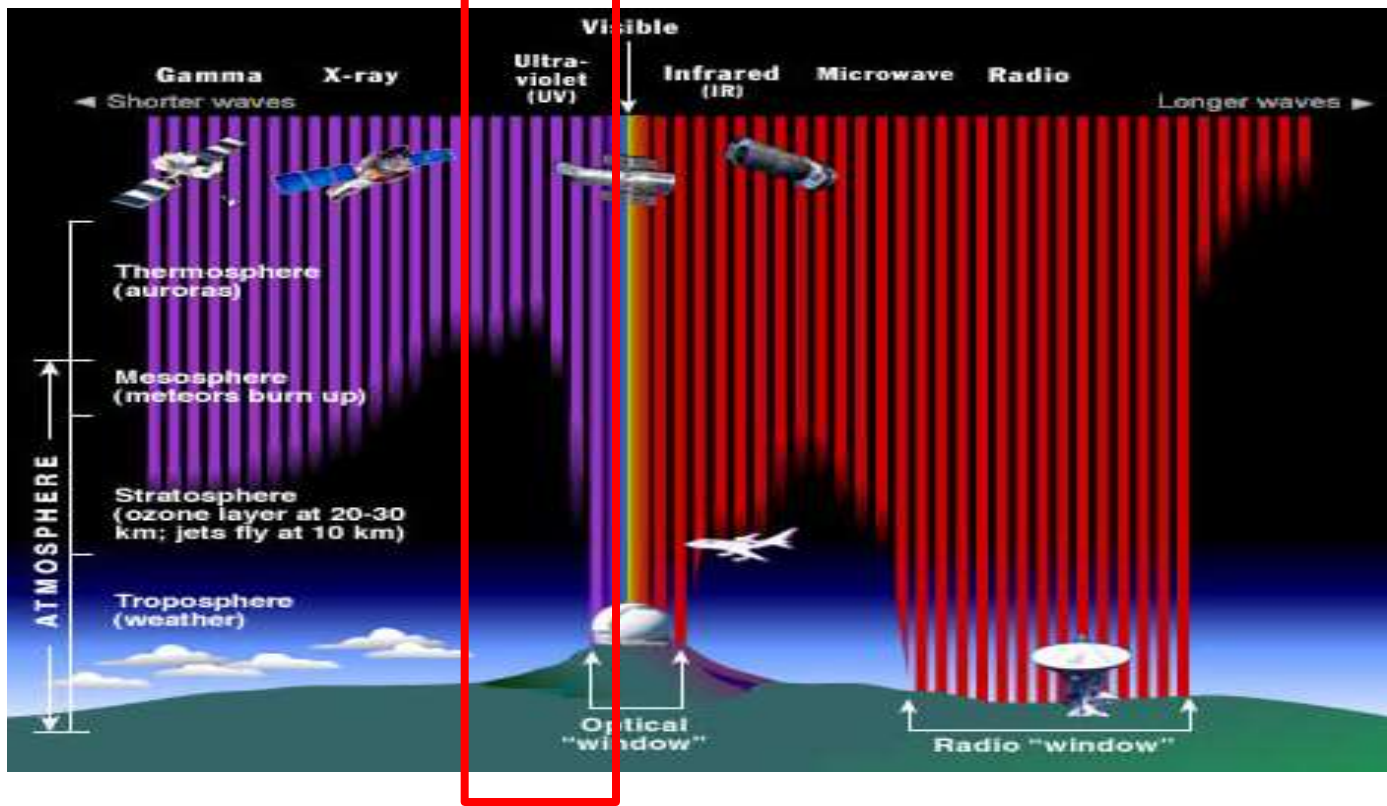


2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.4 – Raios Ultravioleta

Absorção da radiação na Atmosfera

As camadas da atmosfera bloqueiam cerca de 77% dos Raios Ultravioletas do Sol, quase inteiramente nos comprimentos de onda UV mais curtos.



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.4 – Raio Ultravioleta

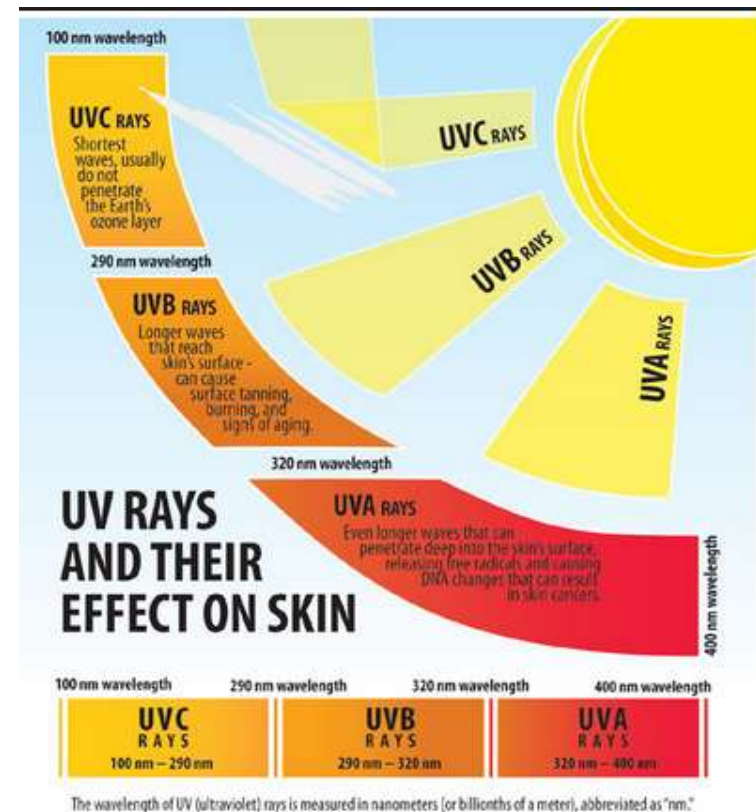
Efeitos dos Raios UV:

A radiação UV tem efeito hormesis ou seja em baixa dosagem ela é benéfica para o ser humano

Os principais efeitos imediatos são eritema (ou queimadura de pele), bronzeamento, produção de vitamina D e imunodepressão.

A UVB causa eritema, que é a queimadura de pele

Os efeitos crônicos podem ser causados pela longa exposição ao UVB e ao UVA, entre eles estão por exemplo: o câncer

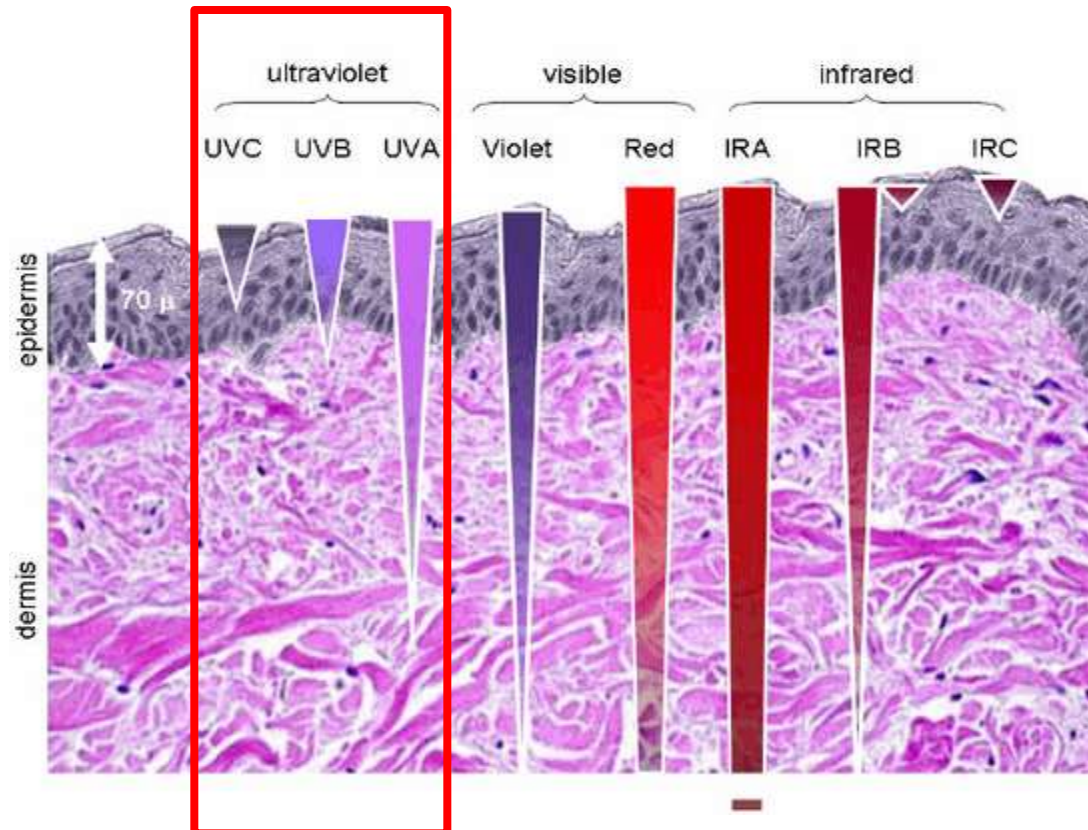


2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.4 – Raio Ultravioleta

Efeitos dos Raios UV:

Penetração na Pele



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.4 – Raio Ultravioleta

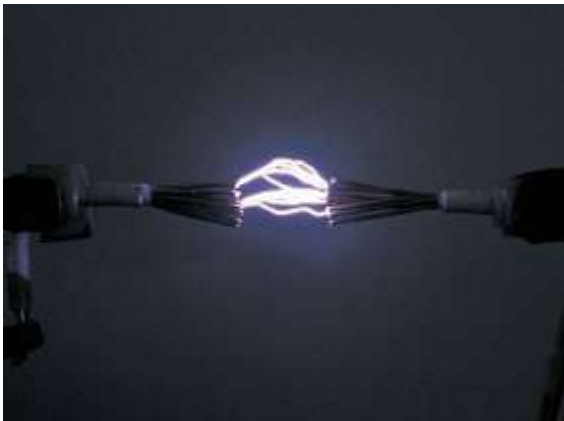
Outras fontes de UV:

Pode ser produzido por arcos voltáicos e luzes especiais, tais como: lâmpadas de vapor de mercúrio (utilizadas em hospitais para fins de esterilização e em clínicas de bronzamento)

Arco Voltaico: é resultante de uma ruptura dielétrica

Luz Negra: Existem certas lâmpadas ultravioleta que emitem comprimentos de onda próximos à luz visível entre 380 e 420 nm.

Dentro da lâmpada há um vapor (mercúrio) que, na passagem de elétrons, emite radiação no comprimento de onda do ultravioleta

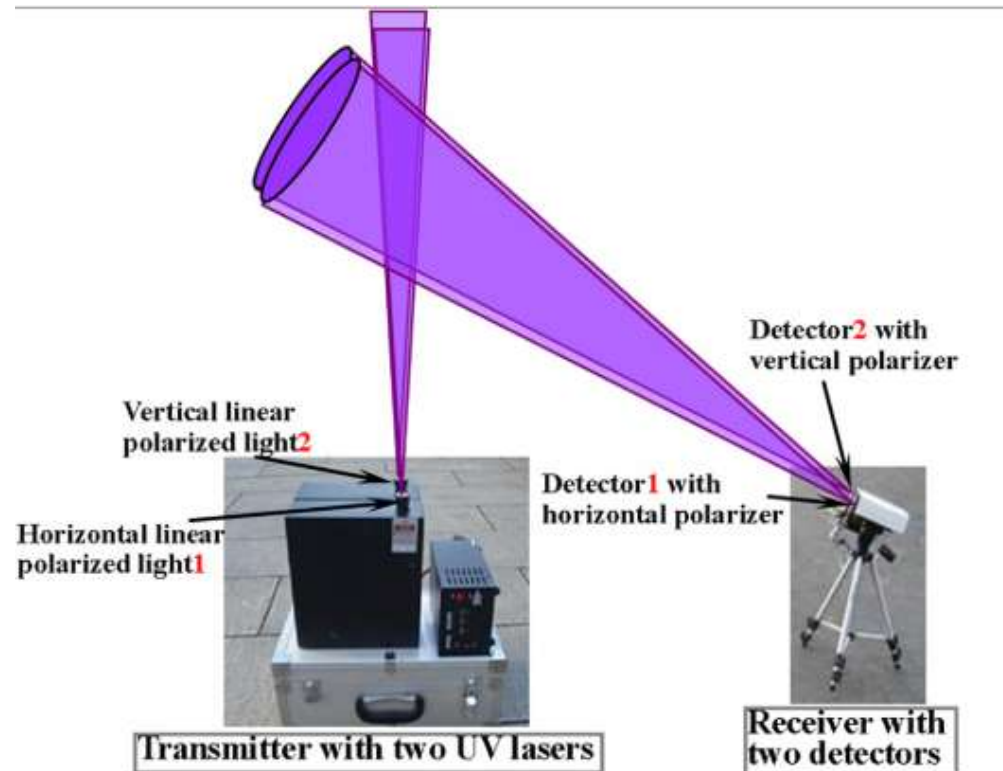


2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.4 – Raio Ultravioleta

Aplicações:

Atrair insetos, luz negra, bronzamento artificial, tunning, detecção de dinheiro falso, Também em estudo, comunicações via UV



2- Ondas Eletromagnéticas

2.1 – Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

2.2 - Geração de Ondas Eletromagnéticas

2.3 - Espectro Eletromagnético

2.3.1 - Raios Cósmicos

2.3.2 - Raios Gamma

2.3.3 - Raios-X

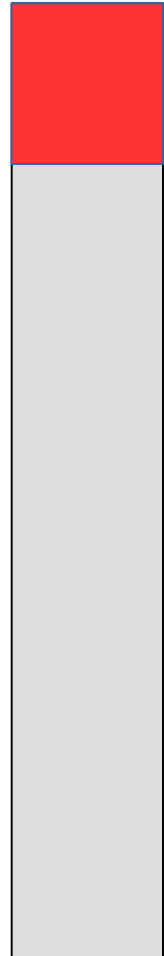
2.3.4 - Raios Ultravioleta

2.3.5 - Luz Visível

2.3.6 - Infravermelho

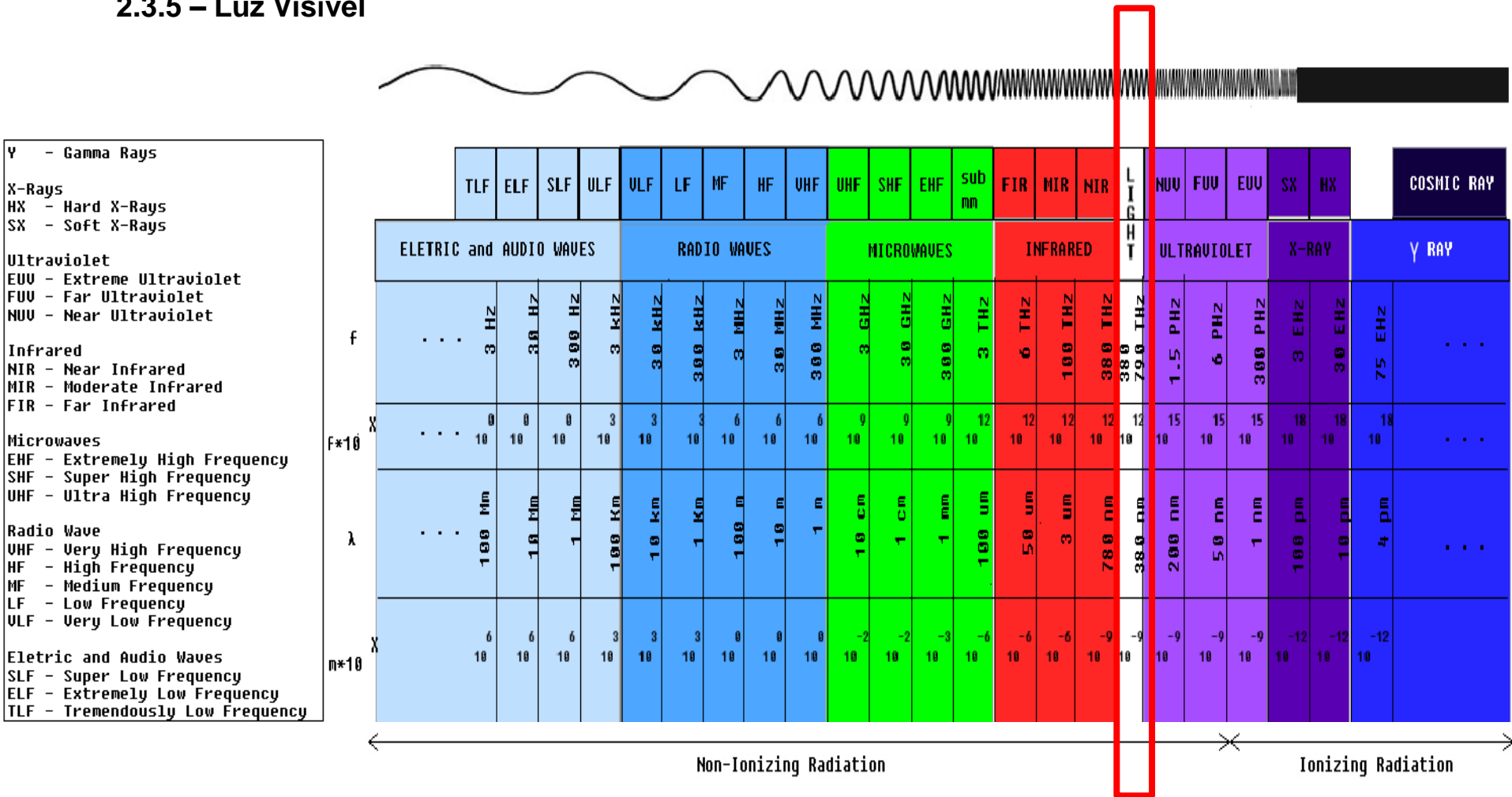
2.3.7 - Micro-ondas

2.3.8 - Ondas de Rádio



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

Espectro Visível é a porção do espectro eletromagnético cuja radiação é composta por fótons capazes de sensibilizar o olho humano.

É a faixa do espectro eletromagnético com energia entre, 1.59 eV ~ 3.26 eV

comprimento de onda, na ordem de: 780nm ~ 380nm (tamanho de bactérias)

Frequência na ordem de: 380 THz ~ 790 Thz

Múltiplo	Nome	Símbolo
10^0	-hertz	Hz
10^1	deca-hertz	daHz
10^2	hecto-hertz	hHz
10^3	quilo-hertz	kHz
10^6	mega-hertz	MHz
10^9	giga-hertz	GHz
10^{12}	tera-hertz	THz
10^{15}	peta-hertz	PHz
10^{18}	exa-hertz	EHz
10^{21}	zetta-hertz	ZHz
10^{24}	yotta-hertz	YHz

Submúltiplo	Nome	Símbolo
10^0	metro	m
10^{-1}	decímetro	dm
10^{-2}	centímetro	cm
10^{-3}	milímetro	mm
10^{-6}	micrometro	μm
10^{-9}	nanometro	nm
10^{-12}	picometro	pm
10^{-15}	fentómetro/fentómetro ⁴	fm
10^{-18}	attómetro/atómetro ⁴	am
10^{-21}	zeptómetro / / zeptómetro ⁴	zm
10^{-24}	yoctómetro / / ioctómetro ⁴	ym

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

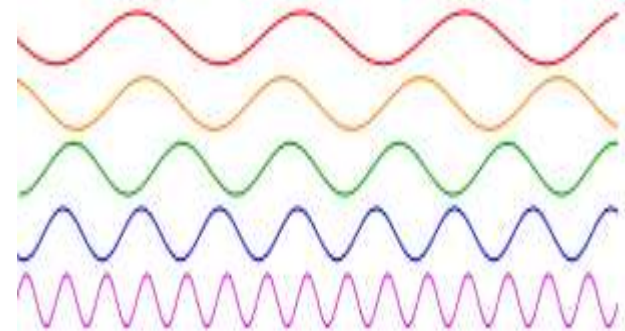
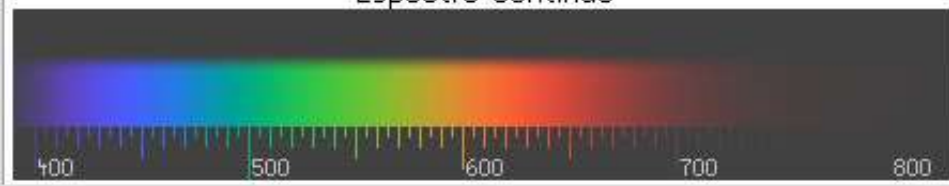
2.3.5 – Luz Visível

A faixa visível do espectro é delimitada pela mais baixa frequência opticamente estimulante – percebida como vermelho e pelo lado de mais alta frequência perceptível – percebida como violeta.

Para cada comprimento de onda, está associado a uma cor.

Cor	Comprimento de onda	Frequência
vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz
ciano	~ 485-500 nm	~ 620-600 THz
azul	~ 440-485 nm	~ 680-620 THz
violeta	~ 380-440 nm	~ 790-680 THz

Espectro Contínuo



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

O espectro visual varia conforme a espécie:

- Cachorros e gatos não veem todas as cores, no entanto suas escalas de cinza são mais variadas que dos humanos.
- Cobras enxergam em infravermelho
- Abelhas em ultravioleta.
- Mesmo os humanos podem enxergar variações diferentes.

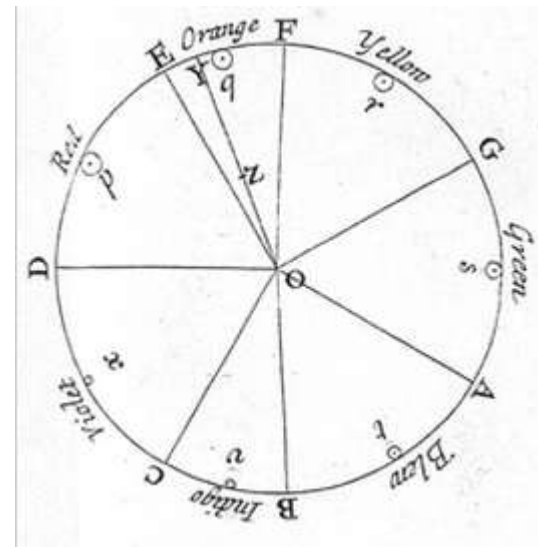
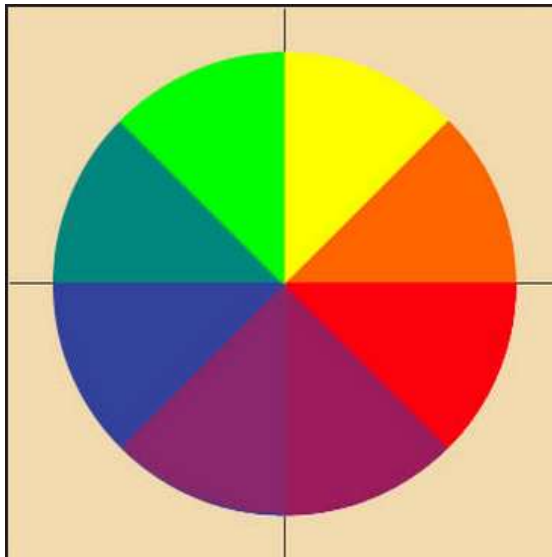
2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

História:

No século 17, Isaac Newton escreveu o livro *Optiks*, onde descrevia o espectro óptico.

Newton usou pela primeira vez a palavra *espectro* (latim para "aparência" ou "aparição") impresso em 1671 em uma descrição de seu experimento em óptica.

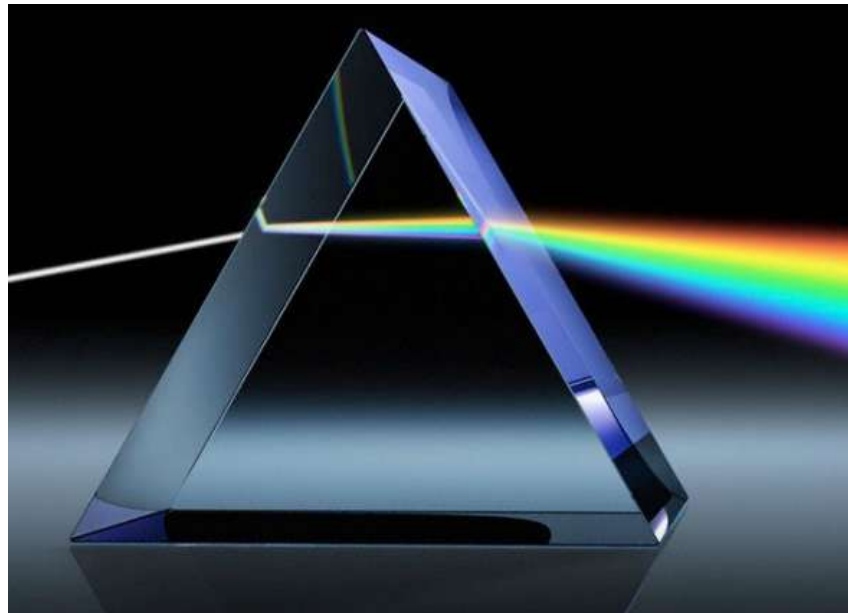


2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

História:

Newton observou também que quando um feixe estreito de luz solar se encontra com um prisma de vidro em um ângulo, uma parte é refletida e a outra parte passa o vidro, surgindo diferentes bandas de cores.

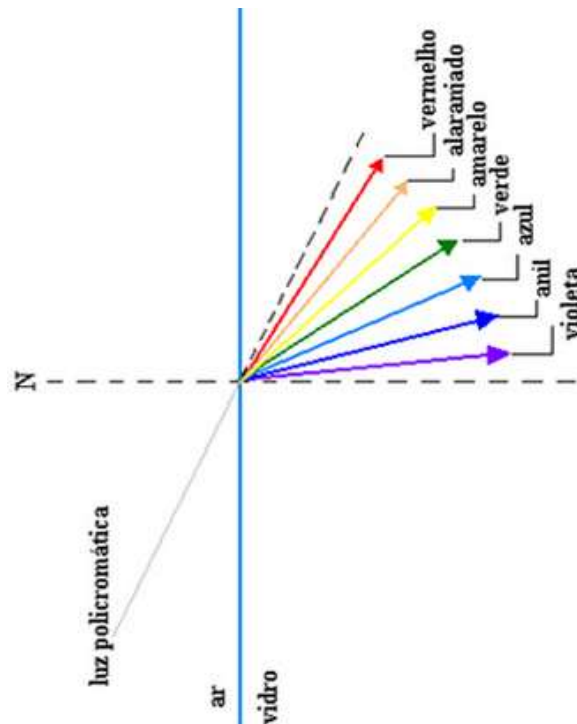


2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

História:

Newton hipotetizou que a luz era feita de "corpúsculos" (partículas) de diferentes cores, e que diferentes cores se moviam com diferentes velocidades na matéria transparente, com o vermelho se movendo mais rápido que o violeta, o que resulta que o vermelho possui uma angulação (refração) menor que a do violeta ao passar pelo prisma, criando um espectro de cores.

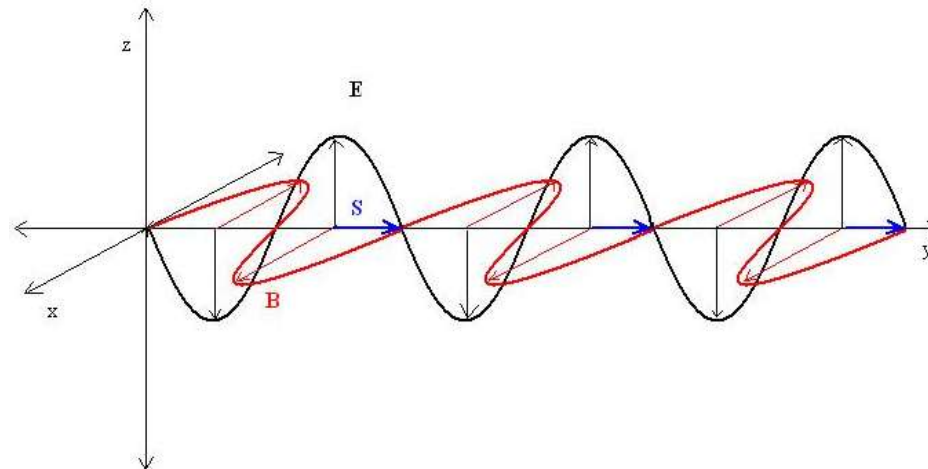


2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

Natureza da Luz:

É formada pela oscilação do campo elétrico E e do campo magnético B que oscilam perpendicularmente entre si e perpendicularmente à direção de propagação



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

Natureza da Luz:

Cada quantum de oscilação destes campos é denominado fóton. Estes entes físicos podem ser considerados partículas, embora ao se tratar da propagação da luz em meios homogêneos seja apropriado tratá-la considerando seu caráter ondulatório.

No vácuo, a luz se propaga com velocidade 3×10^8 m/s. Em geral, os outros meios possuem maior refração, ou seja, maior índice de refração.

Este índice é dado pela relação entre a velocidade da luz no vácuo c e a velocidade da luz neste meio v , de modo a obter a expressão a seguir.

$$n = c/v$$

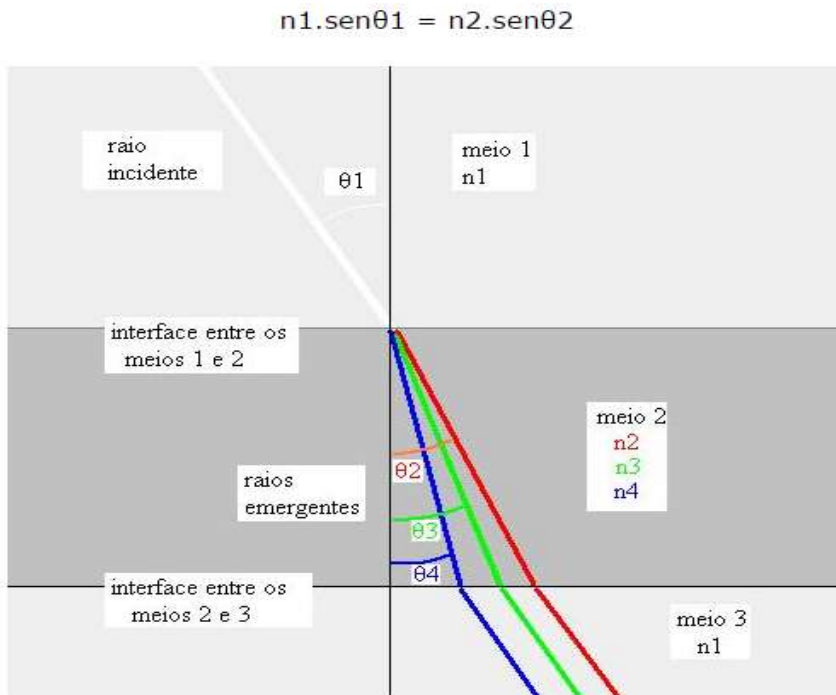
2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

Natureza da Luz:

Lei de Snell-Descartes:

Um feixe de luz ao incidir na superfície de separação dos meios n_1 e n_2 , parte do feixe de luz é refletida e parte é refratada.



para cada comprimento de onda há um desvio, e uma equação em específico:

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$$

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_3 \cdot \text{sen}\theta_3$$

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_4 \cdot \text{sen}\theta_4$$

para o vermelho
para o verde
para o azul

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

Natureza da Luz:

Energia do fóton para a luz visível

Os fótons foram descobertos por Max Planck (1858-1947) em 1900, ele propôs que a energia podia ser liberada ou absorvida pelos átomos através de “pacotes” de energia (Planck nomeou esses “pacotes” de quantum, que significa quantidade fixa)

Esse valor é conhecido como Constante de Planck (h), onde a sua unidade é joule segundos

Sendo assim, para calcularmos a energia dos fótons do espectro visível, é só multiplicar a frequência (na faixa de 400 Thz a 750 Thz) pela Constante de Planck

$$h = 6,63 \times 10^{-34} J.s$$

$$E = h\eta$$

h a Constante de Planck;

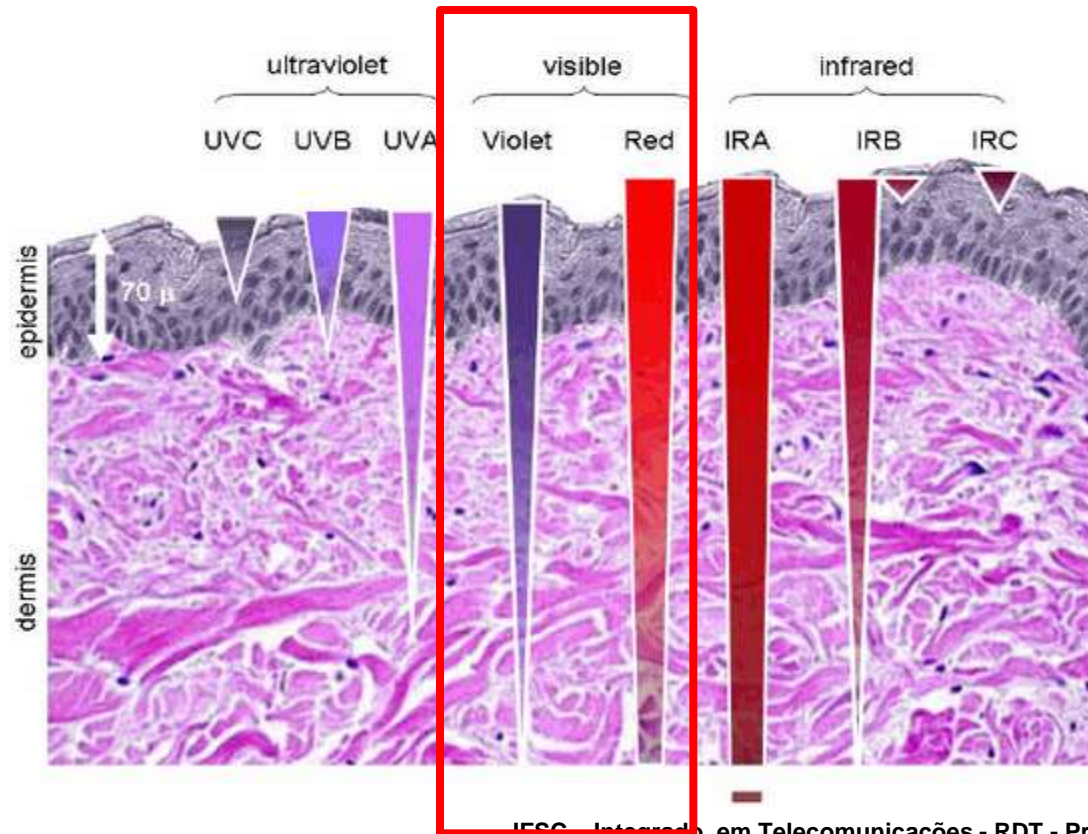
η a frequência;

E a energia do fóton.

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

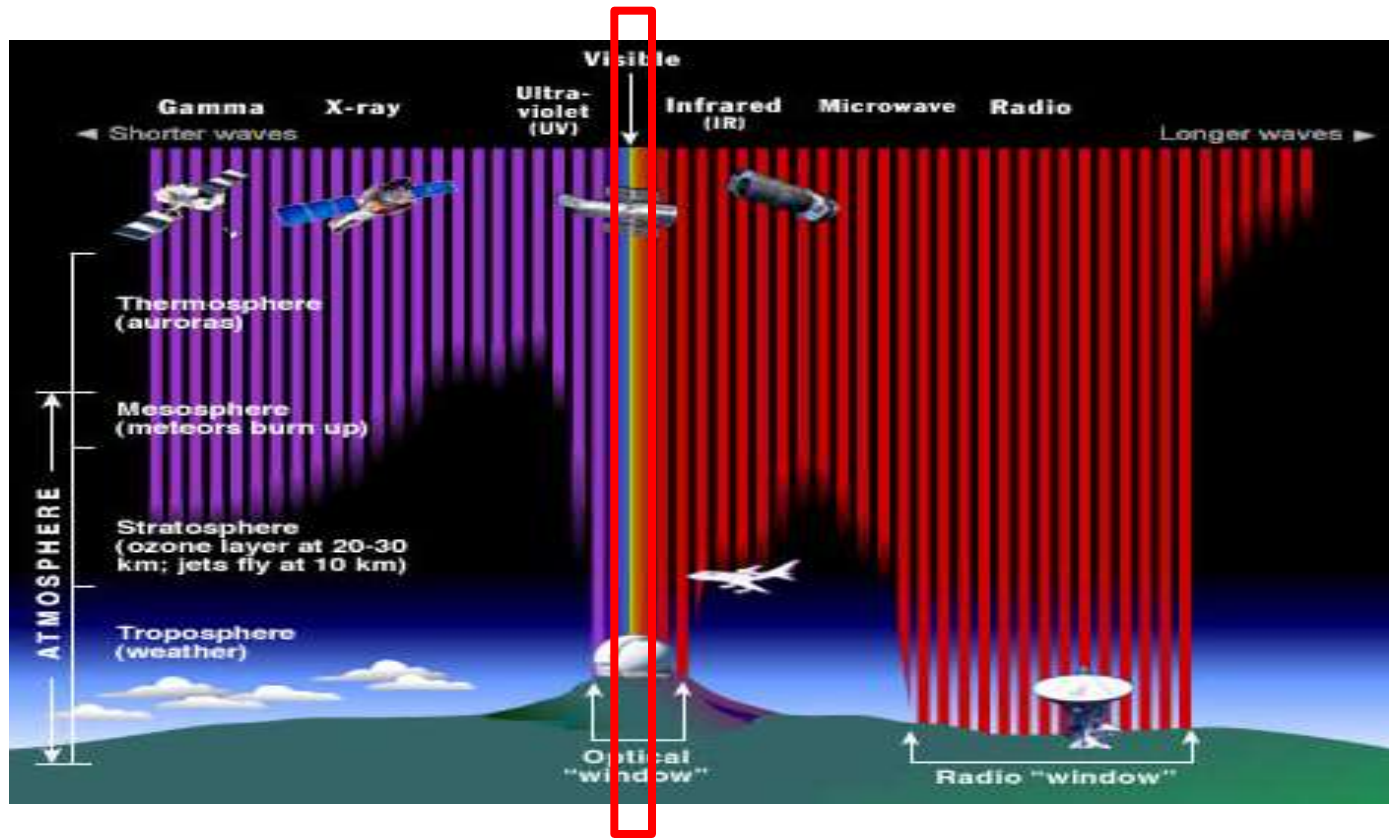
Penetração na Pele



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.5 – Luz Visível

Absorção da Luz Visível na Atmosfera



2- Ondas Eletromagnéticas

2.1 – Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

2.2 - Geração de Ondas Eletromagnéticas

2.3 - Espectro Eletromagnético

2.3.1 - Raios Cósmicos

2.3.2 - Raios Gamma

2.3.3 - Raios-X

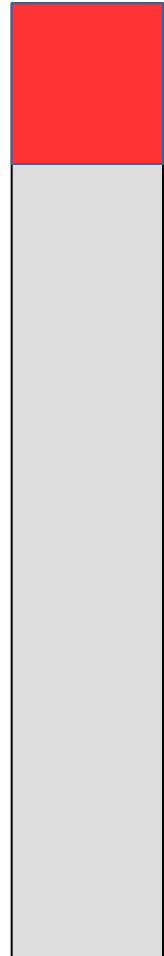
2.3.4 - Raios Ultravioleta

2.3.5 - Luz Visível

2.3.6 - Infravermelho

2.3.7 - Micro-ondas

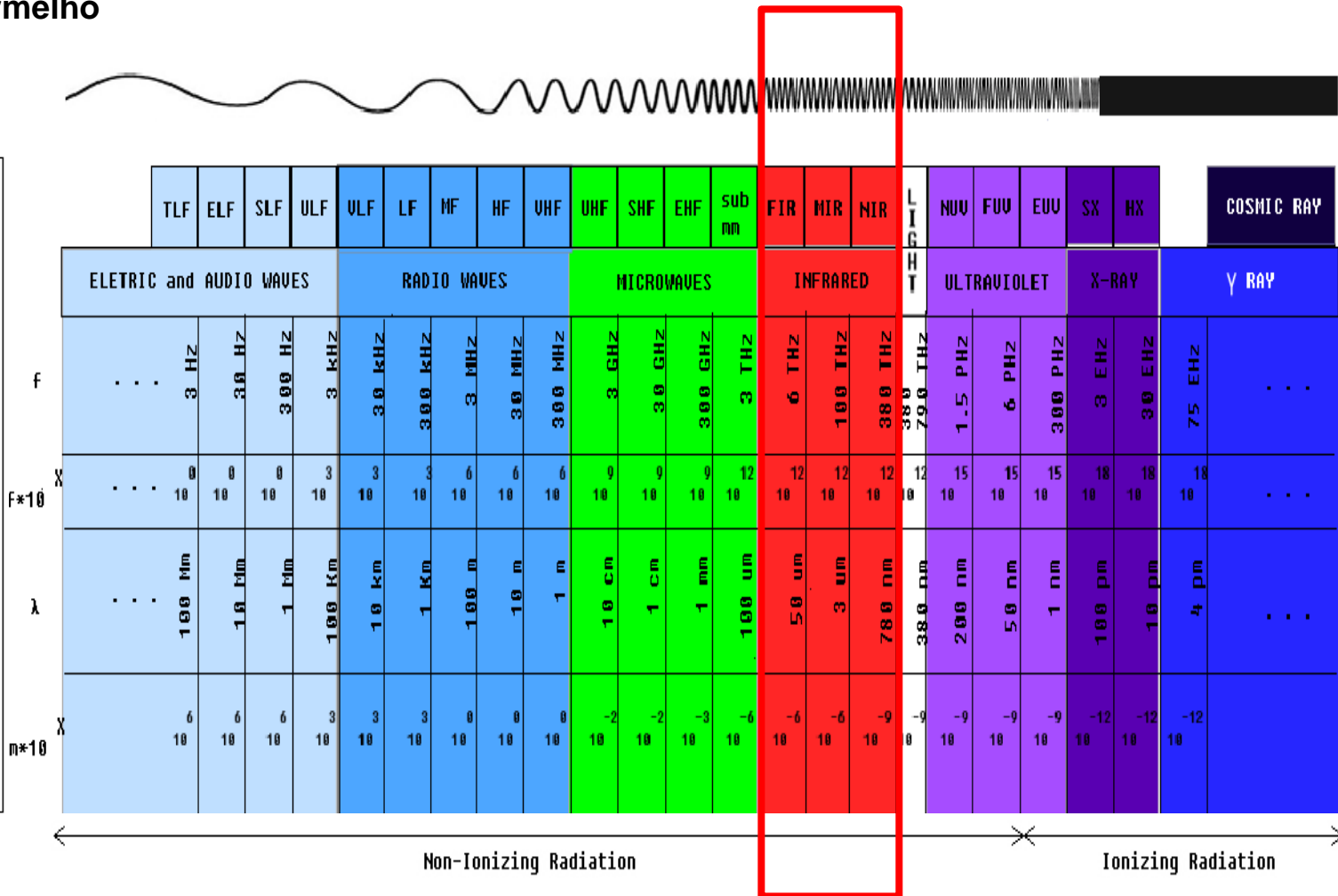
2.3.8 - Ondas de Rádio



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

γ	- Gamma Rays
X-Rays	
HX	- Hard X-Rays
SX	- Soft X-Rays
Ultraviolet	
EUU	- Extreme Ultraviolet
FUV	- Far Ultraviolet
NUV	- Near Ultraviolet
Infrared	
NIR	- Near Infrared
MIR	- Moderate Infrared
FIR	- Far Infrared
Microwaves	
EHF	- Extremely High Frequency
SHF	- Super High Frequency
UHF	- Ultra High Frequency
Radio Wave	
VHF	- Very High Frequency
HF	- High Frequency
MF	- Medium Frequency
LF	- Low Frequency
ULF	- Very Low Frequency
Electric and Audio Waves	
SLF	- Super Low Frequency
ELF	- Extremely Low Frequency
TLF	- Tremendously Low Frequency



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

É uma radiação não ionizante na porção invisível do espectro eletromagnético que possui uma frequência menor (comprimento maior) que a frequência da cor vermelha (da Luz Visível). O nome significa (abaixo do vermelho).

É uma radiação Não-Ionizante!

É a faixa do espectro eletromagnético com energia entre, 12.4meV~ 1.59 eV

comprimento de onda, na ordem de: 100um ~ 780nm (espessura de papel ~ célula)

Frequência na ordem de: 3 THz ~ 380 THz

Múltiplo	Nome	Símbolo
10^0	-hertz	Hz
10^1	deca-hertz	daHz
10^2	hecto-hertz	hHz
10^3	quilo-hertz	kHz
10^6	mega-hertz	MHz
10^9	giga-hertz	GHz
10^{12}	tera-hertz	THz
10^{15}	peta-hertz	PHz
10^{18}	exa-hertz	EHz
10^{21}	zetta-hertz	ZHz
10^{24}	yotta-hertz	YHz

Submúltiplo	Nome	Símbolo
10^0	metro	m
10^{-1}	decímetro	dm
10^{-2}	centímetro	cm
10^{-3}	milímetro	mm
10^{-6}	micrometro	μm
10^{-9}	nanometro	nm
10^{-12}	picometro	pm
10^{-15}	fentômetro/fentômetro ⁴	fm
10^{-18}	attometro/atometro ⁴	am
10^{-21}	zeptômetro / / zeptômetro ⁴	zm
10^{-24}	yoctômetro / / ioctômetro ⁴	ym

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

A radiação infravermelha foi descoberta em 1800 pelo astrônomo Sir William Herschel , que descobriu um tipo de radiação invisível no espectro além da luz vermelha, por meio de seu efeito sobre um termômetro.

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

A radiação infravermelha é emitida em grande quantidade pelos átomos de um corpo aquecido, os quais se encontram em constante e intensa vibração.

O calor que sentimos quando estamos próximos de um metal aquecido é, em grande parte, devido aos raios infravermelhos que são emitidos por este metal e absorvidos por nosso corpo.

A maior parte da radiação térmica emitida pelos objetos próximos à temperatura ambiente é infravermelho.

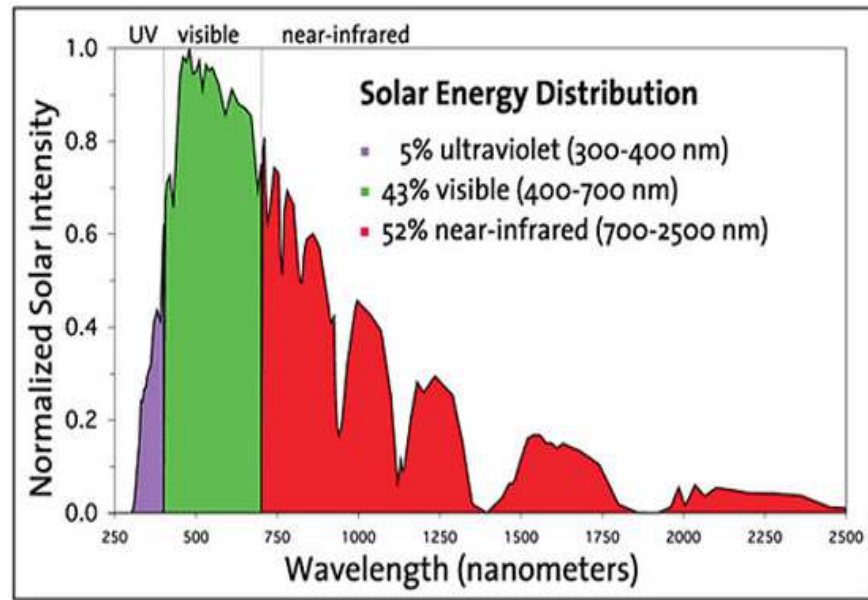
2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

Fontes de Infravermelho:

A luz solar, a uma temperatura de 5780 graus Kelvin

Ao nível do solo 43% de luz visível, 5% Ultravioleta e o restante com infravermelho



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

Fontes de Infravermelho:

Na superfície da Terra, quase toda a radiação térmica consiste em vários comprimentos de onda infravermelhos

Todo corpo, inclusive o humano, é emissor de radiações infravermelhas. Quanto maior a temperatura, maior é a emissão dessas radiações

O ferro de passar roupa e o aquecedor são exemplos de equipamentos que emitem na faixa do infravermelho.

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

A faixa do infravermelho é frequentemente subdividido em seções menores, segundo a ISO 20473:

100 μm	3 THz		
50 μm	6 THz	INFRARED	FIR
3 μm	100 THz		MIR
780 nm	380 THz		NIR

NIR – Near Infrared

- Infravermelho próximo
- É chamado de Infravermelho Reflexivo
- Near-infrared é a região mais próxima no comprimento de onda da radiação detectáveis pelo olho humano
- Definida pela absorção de água
- Comumente utilizado em Fibras Ópticas, por causa da baixa atenuação na fibra.
- Energia: 413 meV ~ 1.59 eV

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

A faixa do infravermelho é frequentemente subdividido em seções menores, segundo a ISSO 20473:

100 μm	3 THz	INFRARED	FIR
50 μm	6 THz		MIR
3 μm	100 THz		NIR
780 nm	380 THz		

MIR – Midium Infrared

- Infravermelho médio
- É chamado de Infravermelho Térmico
- Uma aplicação são os mísseis guiados que se orientam pelo calor de um jato.
- Energia: 24.8 meV ~ 413 meV

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

A faixa do infravermelho é frequentemente subdividido em seções menores, segundo a ISSO 20473:

100 μm	3 THz	INFRARED	D
50 μm	6 THz		FIR
3 μm	100 THz		MIR
780 nm	380 THz		NIR

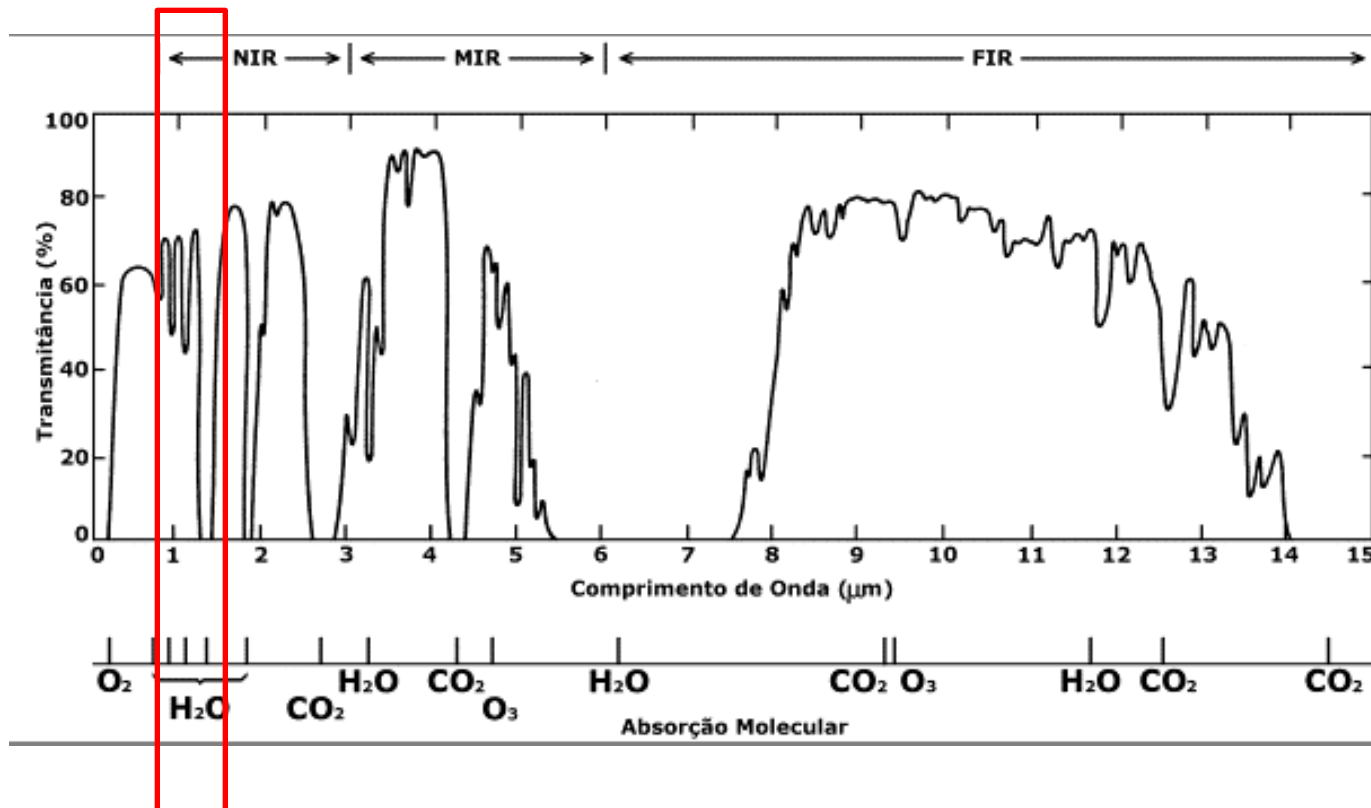
FIR – Far Infrared

- Infravermelho distante
- É chamado de Infravermelho Térmico
- Utilizada em astronomia (Objetos com temperaturas entre cerca de 5 K e 340 K emite radiação na faixa do infravermelho distante)
- Energia: 24.8 meV ~ 413 meV

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

Transmitância x Absorção nas bandas de Infravermelho:



Em destaque em vermelho, a banda utilizada nas comunicações ópticas

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

Penetração:

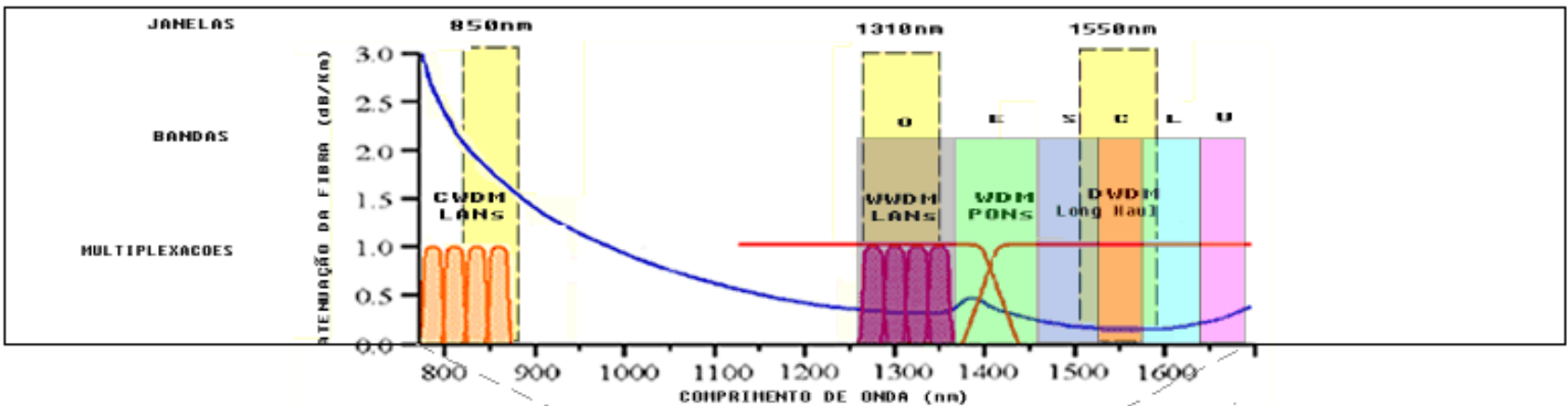
Esse tipo de radiação vinda do Sol não causa grandes efeitos sobre o organismo humano, pois visto que sua energia é baixa, seu poder de penetração na pele também não é grande, atuando principalmente na parte superficial na forma de calor. Porém, em excesso, pode causar queimaduras.

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

Bandas de Telecomunicações no Infravermelho:

JANELAS E BANDAS OPTICAS

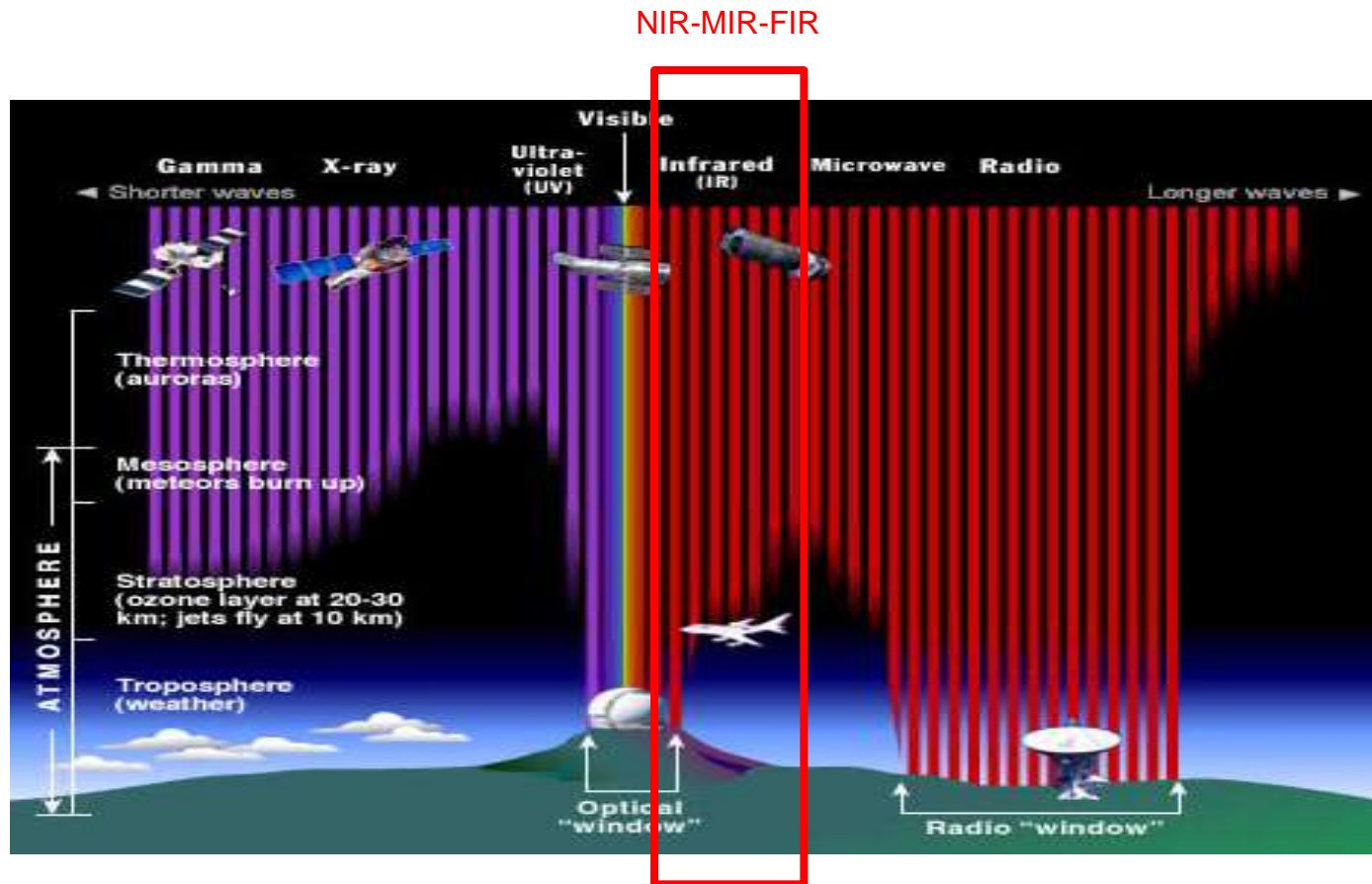


Band	Descriptor	Wavelength range
O band	Original	1260–1360 nm
E band	Extended	1360–1460 nm
S band	Short wavelength	1460–1530 nm
C band	Conventional	1530–1565 nm
L band	Long wavelength	1565–1625 nm
U band	Ultralong wavelength	1625–1675 nm

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

Absorção do Infravermelho na Atmosfera:



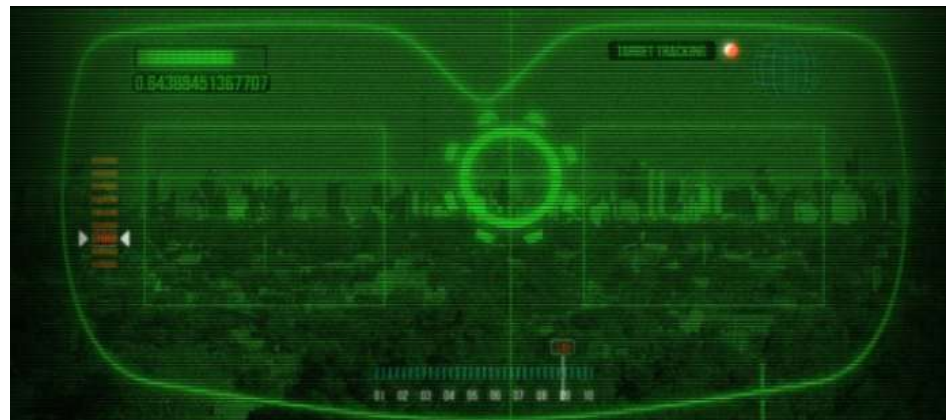
2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

A radiação infravermelha é usada em aplicações militares, industriais, científicas, médicas e de comunicações.

Exemplos: Visão Noturna

Fontes de luz de infravermelhos podem ser usados para aumentar a luz ambiente disponível para a conversão por meio de dispositivos de visão noturna, aumentando a visibilidade no escuro sem realmente utilizar uma fonte de luz visível



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

A radiação infravermelha é usada em aplicações militares, industriais, científicas, médicas e de comunicações.

Exemplos: Termografia

A quantidade de radiação emitida por um objeto aumenta com a temperatura, por conseguinte, a termografia permite ver as variações de temperatura



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

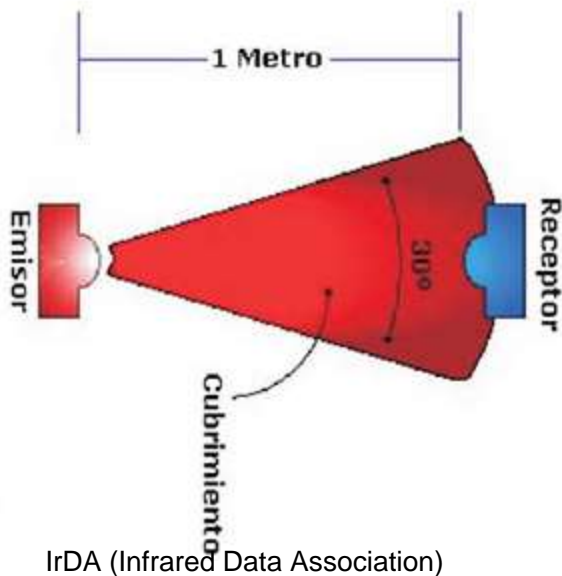
2.3.6 – Infravermelho

A radiação infravermelha é usada em aplicações militares, industriais, científicas, médicas e de comunicações.

Exemplos: Comunicações

Controles remotos e dispositivos IrDA (Infrared Data Association) usam diodos emissores de luz (LEDs) para emitir radiação infravermelha.

O receptor usa um fotodiodo para converter a radiação infravermelha a um de corrente elétrica



Led nas comunicações ópticas

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

A radiação infravermelha é usada em aplicações militares, industriais, científicas, médicas e de comunicações.

Exemplos: Comunicações

O IR não penetra paredes e assim não interfere com outros dispositivos.

O infravermelho é a maneira mais comum para controles remotos para comandar aparelhos.

Protocolos de controle remoto infravermelho, como RC-5 , SIRC , são usados para se comunicar com infravermelho.

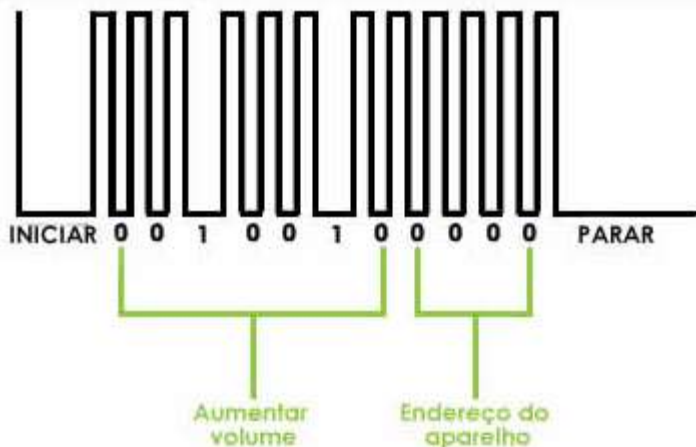
2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

A radiação infravermelha é usada em aplicações militares, industriais, científicas, médicas e de comunicações.

Exemplos: Comunicações

Controles remotos - Para evitar interferências causadas por outras fontes de luz infravermelha, o receptor infravermelho em uma TV responde a apenas um comprimento de onda particular de luz infravermelha, normalmente 980 nanômetros.



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.6 – Infravermelho

A radiação infravermelha é usada em aplicações militares, industriais, científicas, médicas e de comunicações.

Exemplos: Comunicações

Comunicação óptica usam lasers infravermelhos para fornecer luz nos sistemas de fibras ópticas

A luz infravermelha em lasers tem um comprimento de onda em torno de 1.330 nm (menos dispersão) ou 1.550 nm (melhor transmissão) e são as melhores opções para o padrão de fibras de sílica.



*maiores detalhes sobre Comunicações Ópticas serão estudadas em
CAB – Cabeamento Estruturado e Redes Telefônicas